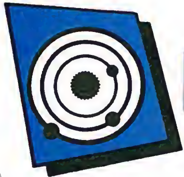
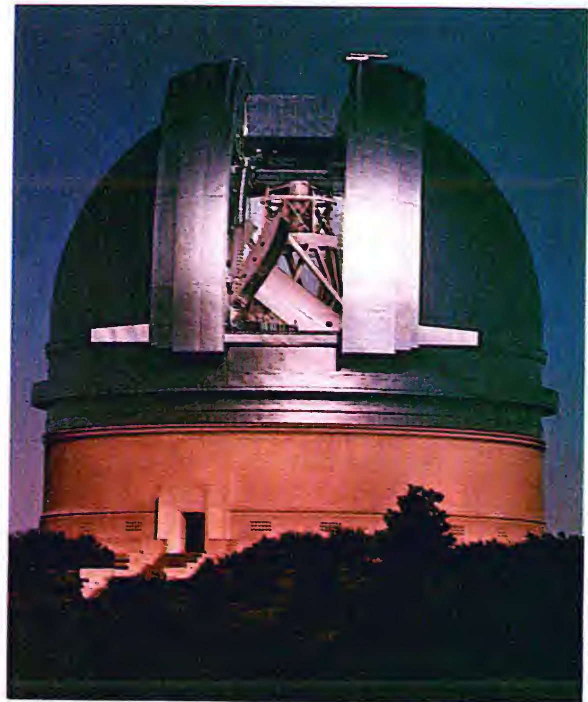


# WELTRAUM

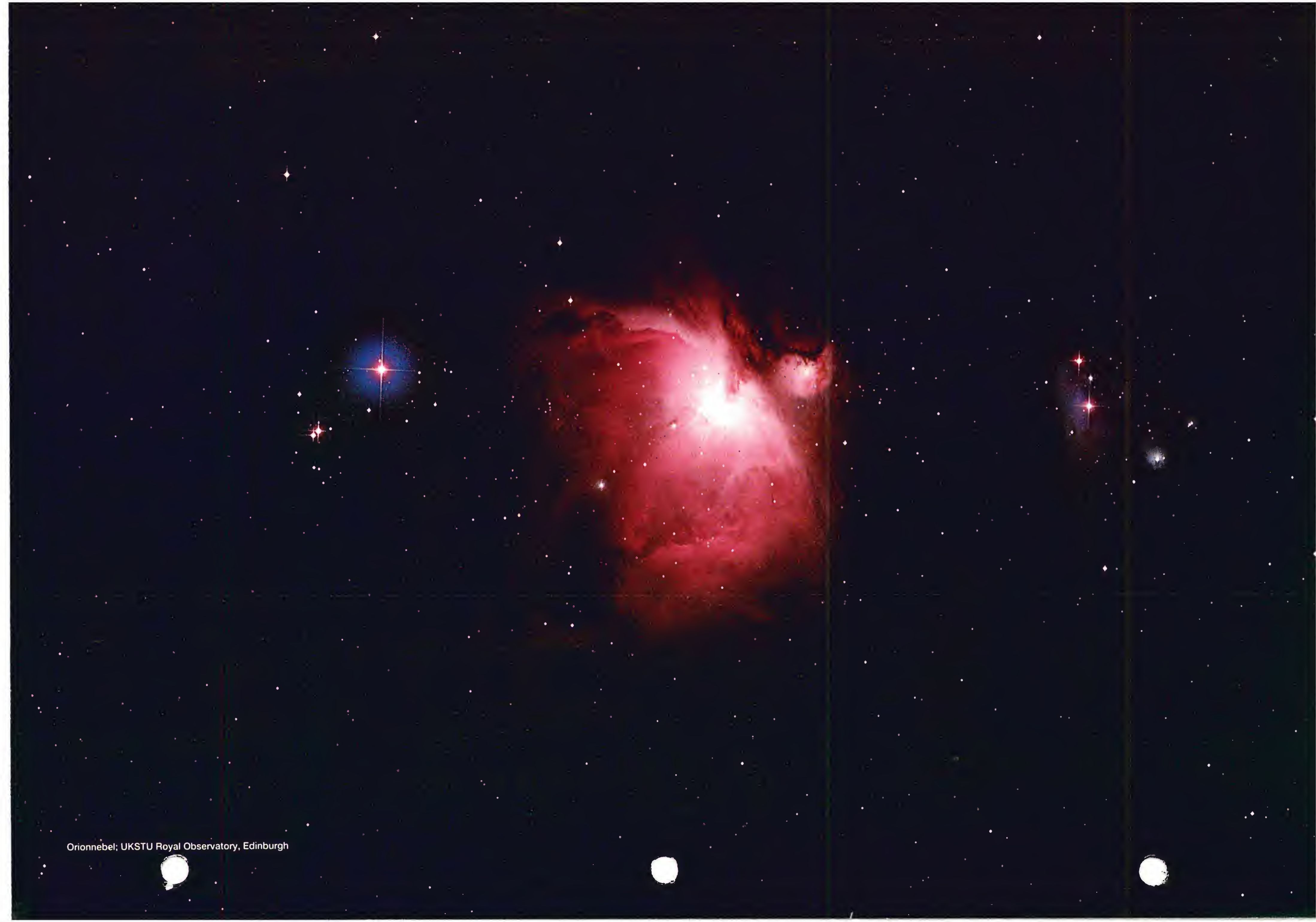


Sternwarte; Hale Observarories





Raumgleiter Hermes; Werkfoto ESA, Deutsche Aerospace AG



Orionnebel; UKSTU Royal Observatory, Edinburgh

# LANDUNG AUF DEM MOND

- DIE GROSSE REISE
- ALS ERSTER AUF DEM MOND
- DIE RÜCKKEHR

**„DIES IST EIN KLEINER SCHRITT für mich, aber ein großer Schritt für die Menschheit.“ Das waren die historischen Worte, die der amerikanische Astronaut Neil Armstrong sprach, als er als erster Mensch seinen Fuß auf den Mond setzte.**

Am 20. Juli 1969 saßen Millionen von Zuschauern in aller Welt gebannt vor ihren Fernsehgeräten und wurden Zeugen dieses wichtigen Augenblicks in der Geschichte der Menschheit: Der erste Mensch war auf dem Mond gelandet!

Das große Abenteuer hatte vier Tage zuvor, am 16. Juli 1969, auf dem amerikanischen Raumfahrtstützpunkt Cap Canaveral in Florida begonnen. Donnernd erhebt sich um 9.32 Uhr die riesige Saturn-V-Rakete von ihrer Startrampe. An ihrer Spitze trägt sie das Raumschiff Apollo 11. Im engen Inneren der Kommandokapsel werden die Astronauten Neil Armstrong, Edwin „Buzz“ Aldrin und Michael Collins in die Sitze gepreßt. Sie fliegen dem größten Erlebnis ihres Lebens entgegen.

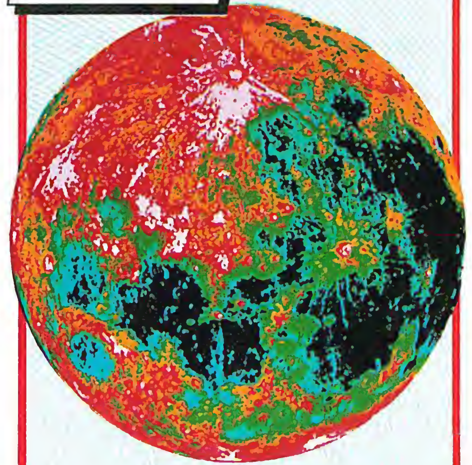
Während die Saturn-Rakete langsam von der Startrampe abhebt, jagen 15 Tonnen Treibstoff pro Sekunde mit ohrenbetäubendem Lärm durch die Motoren. Nach zweieinhalb Minuten hat das riesige Raumgefährt bereits eine Höhe von 61 Kilometer erreicht, und die erste Raketenstufe ist ausgebrannt.

Die Geschwindigkeit beträgt 9978 km/h, als die zweite Stufe gezündet wird, doch die Beschleunigungsphase ist noch nicht abgeschlossen. Weiter werden die Astronauten mit einem Vielfachen ihres Körpergewichts in ihre Sitze gedrückt, ihre Gesichter verformen sich zu Fratzen, und sie können keinen Finger rühren. Sechseinhalb Minuten später beträgt die Geschwindigkeit bereits unvorstellbare 24 940 km/h, und die Erde ist weitere 124 Kilometer zurückgeblieben. Auch die zweite Raketenstufe wird abgetrennt; die dritte Stufe zündet kurz und befördert das Raumschiff auf eine Wartebahn um die Erde.

Nach einigen Erdumkreisungen wird die dritte Stufe erneut gezündet und der lange Weg zum Mond eingeschlagen.

▼ *Der Astronaut Harrison Schmitt untersucht einen mächtigen Felsblock auf dem Mond. Der Stein wurde vermutlich mit vielen anderen bei einem Meteoritenaufschlag vor Millionen von Jahren aus einem Krater geschleudert. Schmitt ist Geologe; er war der erste Wissenschaftler auf dem Mond.*

## AUF EINEN BLICK — DER MOND



In dieser Falschfarbenaufnahme, die mit einem Teleskop gemacht wurde, sind die Oberflächenstrukturen unseres Trabanten besonders deutlich zu erkennen. Der einzige natürliche Satellit der Erde ist leblos, felsig und ohne Luft zum Atmen.

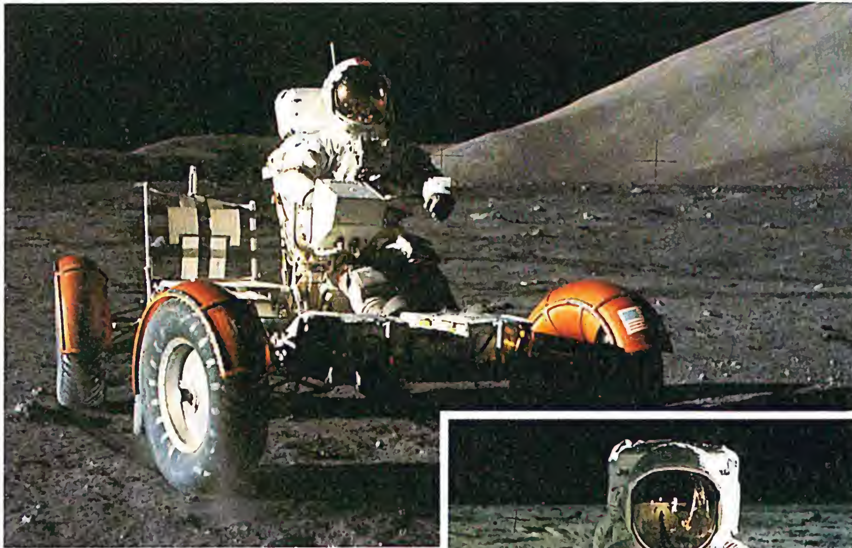
NASA

**Durchmesser** 3476 km
**Entfernung von der Erde**
weiteste Entfernung 406 600 km
geringste Entfernung 356 300 km
mittlere Entfernung 384 000 km
**Oberflächentemperatur**
Maximum 101 ° C
Minimum — 153 ° C
**Gravitation**
0,165 (Erdgravitation = 1)

Die Untersuchung des Mondgesteins hat ergeben, daß der Mond vor etwa drei bis viereinhalb Milliarden Jahren aus geschmolzenem Gestein gebildet wurde, das sich abkühlte und kristallisierte.









▲ ***Bei späteren Apollo-Missionen*** *führten die Astronauten ein speziell konstruiertes „Mondauto" mit, um größere Strecken schneller zurückzulegen.*

▶ ***Der Mondanzug*** *war ein regelrechtes „Zuhause" für die Astronauten auf dem Mond. Er versorgte sie mit Atemluft und Wasser und schützte sie vor Miniaturmeteoriten.*

NASA




Unterwegs unternehmen die Astronauten ein kompliziertes Manöver zur Vorbereitung der Mondlandung. Das Raumschiff besteht nämlich aus drei Teilen: Die Spitze bildet die Kommandokapsel, in der die Besatzung während des Flugs untergebracht ist. Ihr folgt die Versorgungs- und Betriebseinheit mit den für Steuer- und Bremsmanöver notwendigen Düsen und Treibstofftanks. Der hintere Teil des Raumschiffs besteht aus der zweistufigen Mondfähre, die Armstrong und Aldrin zur Mondoberfläche und wieder zurückbringen soll.

Die Versorgungseinheit mit der Kommandokapsel löst sich von der Fähre, dreht sich um 180 Grad und dockt wieder an. Inzwischen hat sich auch die dritte Raketenstufe vom Raumschiff gelöst, die letzten Vorbereitungen zur Landung werden getroffen. Während Apollo 11 bereits den Mond umkreist, kriechen Armstrong und Aldrin durch einen Verbindungstunnel in die Fähre, die den Namen „Eagle" (Adler) trägt. Astronaut Collins bleibt in der Kommandokapsel und kreist weiter um den Mond, während die Fähre sich vom Raumschiff löst.

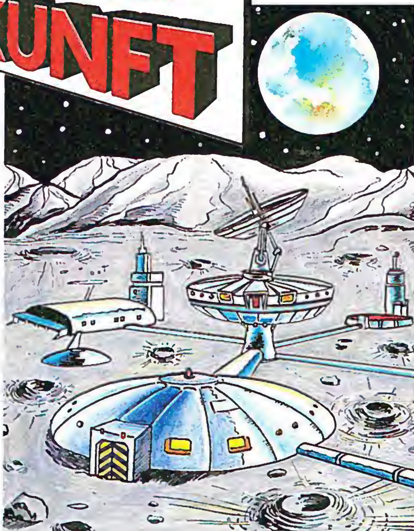
## Der Adler ist gelandet

Die letzte Etappe des Flugs verläuft nicht ganz ohne Probleme, denn der Bordcomputer ist ausgefallen. Doch den Astronauten gelingt das Bremsmanöver von 2065 Metern pro Sekunde auf Null. An diesem 20. Juli 1969 um 21.17 Uhr MEZ gibt Neil Armstrong an die Kontrollzentrale in Houston durch: „Hier Tranquility Base. Der Adler ist gelandet!"

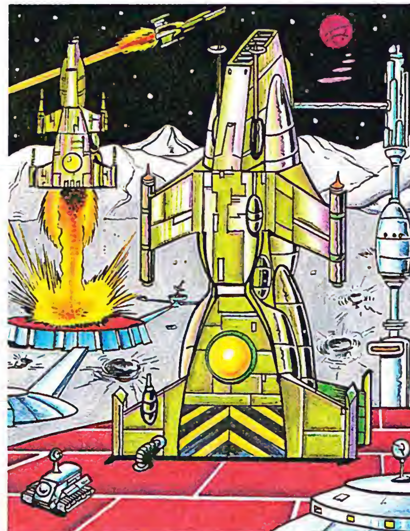
Insgesamt verbrachten die beiden Astronauten 22 Stunden auf dem Mond und sammelten über 20 Kilo Gesteinsproben, die sie mit zur Erde nahmen. Hier erwartete sie ein begeisterter Empfang.

## BLICK IN DIE ZUKUNFT

### KOLONIE AUF DEM MOND



▲ *Menschen könnten durchaus ständig auf dem Mond wohnen, denn Wasser und Sauerstoff lassen sich in ausreichenden Mengen aus dem Mondgestein gewinnen.*



▲ *Sind die ersten Siedlungen errichtet, werden große, aus Mondmetallen gebaute Raumschiffe die auf dem Mond gewonnenen Rohstoffe zur Erde transportieren.*



▲ *Mit der Zeit entstehen richtige Städte. Kinder, die hier geboren wurden, sehen den Mond als ihre wahre Heimat an und besuchen die ferne Erde nur in ihren Ferien.*

Nick Abadzis

# DIE ÄUSSEREN PLANETEN

● GASGIGANTEN ● RINGE ● MONDE



◄ ***Saturn*** *und seine majestätischen Ringe, aufgenommen von der Raumsonde Voyager 1. Ammoniakgas in der Tiefe der Atmosphäre erscheint orange, während die bläulichen Gebiete aus treibenden Kristallen dieser Substanz bestehen. Heute weiß man, daß die Ringe des Saturns aus Tausenden dünner Einzelringe gebildet werden.*

**TOSENDE WIRBELSTÜRME MIT Windgeschwindigkeiten von 1000 km/h, von glühenden Lavameeren bedeckte Monde und gigantische Ringe aus gefrorenen Gasen — all dies können wir auf einer Reise zu den äußeren Planeten unseres Sonnensystems entdecken.**

Weiter und weiter entfernen wir uns von unserer vertrauten, lebensspendenden Sonne, und wir dringen in Regionen ein, wo die Strahlen der Sonne immer weniger Kraft haben und wo die Planeten im Frost der ewigen Dunkelheit erstarrt sind. Wir befinden uns im Reich der eisigen Giganten, den Außenposten unseres Sonnensystems.

Erste Station unserer Reise ist der Jupiter, der so groß ist, daß die Erde 1300 Mal hineinpassen würde. Wie seine gigantischen Nachbarn hat auch er keine erkennbare feste Oberfläche. Alles, was von ihm zu sehen ist, sind die wirbelnden, in allen Farben leuchtenden Wolken seiner Atmosphäre, die aus Wasserstoff, Helium, Methan und Ammoniak besteht. Diese Atmosphäre, die den Jupiter wie eine Decke umhüllt, ist Tausende von Kilometern dick. Man nimmt an, daß sich darunter ein Ozean aus dickflüssigem, sirupartigem Wasserstoff verbirgt. Nur ganz tief in seinem Inneren besitzt dieser Planet wahrscheinlich einen festen Kern aus eisenhaltigem Gestein. Und dieser kleine, harte Kern hat noch immer die Größe unserer Erde.

Das auffallendste Kennzeichen des Jupiters ist sein Großer Roter Fleck — ein gewaltiger, ovaler Strudel aus Gasen. Fast 40 000 Kilometer dehnt sich dieses Sturmgebiet aus, an dessen Rändern Winde toben, die Geschwindigkeiten bis zu 500 km/h erreichen. Der Jupiter mit seinen sechzehn Monden ist eine Art „Miniatur-Sonnensystem".

## Tanz der Monde

Das gilt auch für seinen nächsten Nachbarn, den Saturn, der fast doppelt so weit von der Sonne entfernt ist wie der Jupiter. Um diesen Planeten drehen sich in einem stummen Tanz mindestens 21 größere Monde; so viele sind jedenfalls bis heute entdeckt worden. Der größte



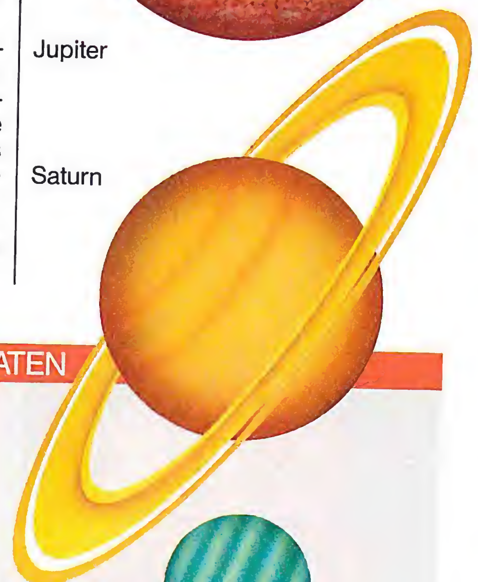
JPL

▲ ***Die Monde des Jupiters*** *in einem phantastischen Panorama mit ihrem Mutterplaneten im Hintergrund. Von oben: Io, Europa, Ganymed und Callisto. Sie sind die vier größten der 16 Monde des Jupiters. Alle vier Himmelskörper hätten mühelos Platz im Großen Roten Fleck des Planeten, den man auf seiner Oberfläche erkennt. Er ist rund 40 000 Kilometer lang und 13 000 Kilometer breit.*



Mark Franklin

Jupiter



Saturn

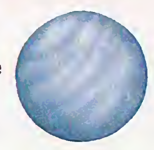
### AUF EINEN BLICK – PLANETENDATEN

Die fünf äußeren Planeten, die fern der Sonne im All kreisen, sind kalte, lebensfeindliche und fremdartige Welten, auf denen die Jahre nach Jahrzehnten und Jahrhunderten gemessen werden.

| | Jupiter | Saturn | Uranus | Neptun | Pluto |
|---|---|---|---|---|---|
| **Entfernung von der Sonne** (Millionen km) | 778 | 1427 | 2870 | 4497 | 5900 |
| **Durchmesser** (km) | 141 200 | 119 300 | 51 800 | 49 500 | 2600 |
| **Länge eines Tages** (in Stunden u. Minuten) | 9,55 | 10,39 | 16,48 | 16,03 | 6,5 Tage |
| **Länge eines Jahres** (in Erdjahren) | 11,9 | 29,5 | 84,0 | 164,8 | 247,7 |
| **Temperatur** (an der (Wolkenobergrenze) | -150 °C | -180 °C | -210 °C | -220 °C | -240 °C |
| **Anzahl der Monde** | 16 | 21 | 5 | 8 | 1 |



Uranus



Neptun

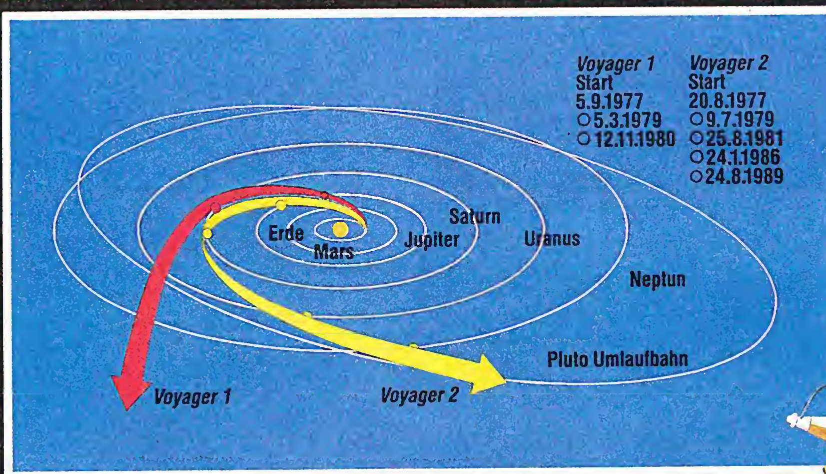


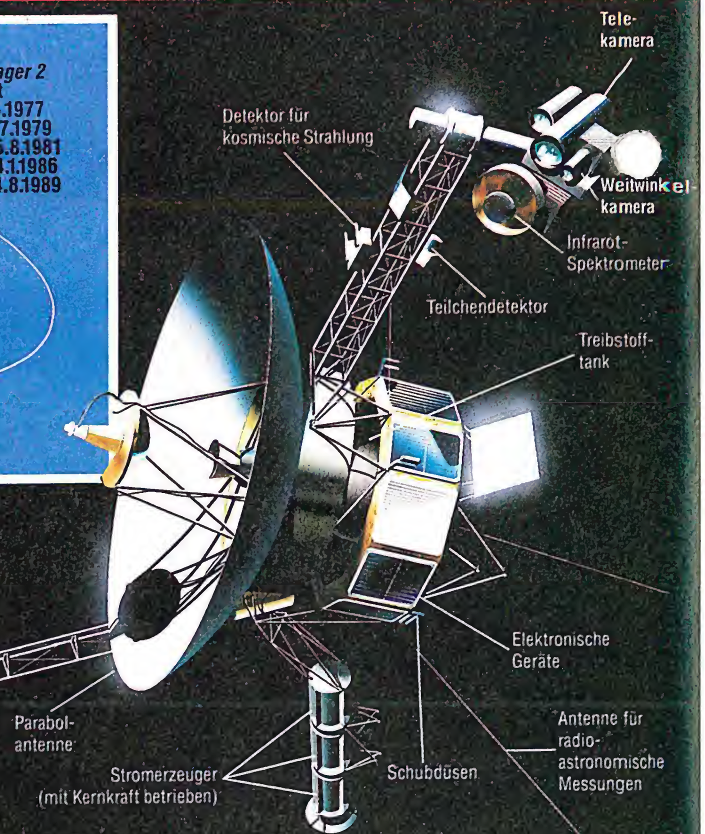
Pluto





## DIE REISEN VON VOYAGER 1 UND 2




Erst seit den Reisen von Voyager 1 und 2 zu den fernen Planeten besitzen wir genauere Daten über unsere Nachbarn im Sonnensystem. Die beiden Raumsonden nutzten das Gravitationsfeld der von ihnen angeflogenen Planeten, um sich wie mit einem Katapult weiterschleudern zu lassen. Voyager 1 startete 1977 und erreichte den Jupiter nach 18monatiger Reise. Der Planet wendete Voyager und schleuderte die Sonde weiter in Richtung Saturn. Voyager 2 passierte im Sommer 1989 den Neptun.

von ihnen ist Titan, dessen Oberfläche unseren Blicken auf ewig durch dichten roten Nebel entzogen ist. Was den Saturn aber einzigartig macht, sind die fantastischen Ringe, die den Planeten wie einen Gürtel umgeben. Obwohl sie von der Erde aus wie feste Scheiben erscheinen, setzen sie sich doch aus unzählbaren Ansammlungen von Felsbrocken und Eisklumpen der verschiedensten Größen zusammen, die wie winzige Monde um den Saturn kreisen.

Bis vor kurzem glaubten Wissenschaftler, daß nur der Saturn von Ringen umgeben sei; heute weiß man, daß auch der Jupiter, Uranus und vielleicht sogar der Neptun Ringe besitzen, die allerdings nicht so auffällig wie die des Saturns sind. Elf schmale Ringe drehen sich um den Uranus, einen der geheimnisvollsten Planeten des Sonnensystems. Außerdem wird er von fünfzehn bekannten Monden umkreist, darunter dem kleinen Miranda mit seiner zernarbten Oberfläche. Miranda ist wahrscheinlich mindestens fünfmal in seine Bestandteile zersprengt worden, als andere Himmelskörper mit ihm zusammenstießen. Jedesmal aber war die Kraft der Gravitation so stark, daß sich die Trümmer wieder zu einem neuen Mond zusammenfügten.


NASA/SPL

◀ ***Miranda,** einer der 5 bekannten Monde des Uranus, hat eine narbige Oberfläche, die von zahllosen Bruchzonen, Falten und Kratern bedeckt ist. Eins der tiefsten Täler hat über 15 Kilometer hohe Wände.*


NASA

▲ ***Io** ist etwas größer als unser Mond. Die Oberfläche dieses Jupitermondes zeigt Spuren ständiger vulkanischer Aktivitäten und ist mit rötlichen Schwefelablagerungen bedeckt.*

### Welten im Zusammenstoß

Aber nicht nur Miranda könnte in grauer Vorzeit mit anderen Planeten zusammengestoßen sein. So wundern sich Wissenschaftler seit langem, warum der Uranus im Gegensatz zu allen anderen bekannten Planeten auf der Seite liegend um die eigene Achse rotiert. Die wahrscheinlichste Erklärung dafür ist, daß dieser Planet vor vielen Milliarden Jahren mit einem anderen Himmelskörper – etwa von der Größe der Erde – zusammengeprallt ist. Der „flüchtige Täter" muß mit ungeheurer Geschwindigkeit in den Uranus gerast sein und hat ihn dabei einfach umgekippt.

Ein ähnlicher Unfall kann sich auch weiter draußen im All ereignet haben, denn Triton, einer der Neptun-Monde, fliegt seine Kreisbahnen in der falschen Richtung. Und Pluto, der sonnenfernste Planet, folgt einem ungewöhnlichen Kurs. Seine Umlaufbahn ist so elliptisch verformt, daß er etwa alle 250 Jahre die Bahn des wesentlich näheren Neptuns kreuzt und 20 Jahre lang die „Innenbahn" benutzt. Für manche Wissenschaftler scheinen all diese Tatsachen darauf hinzudeuten, daß es noch einen weiteren Planeten in unserem Sonnensystem gibt, der jenseits der Bahn des Plutos seine einsamen Kreise zieht. Planet X – das ist der Name, den Wissenschaftler diesem geheimnisvollen Unbekannten gegeben haben.

### Kaum zu glauben

**HAPPY BIRTHDAY**

MIT TORTEN WÄRE AUF PLUTO KEIN GUTES GESCHÄFT ZU MACHEN: WEIL DER PLANET BEI DER UMKREISUNG DER SONNE SO EINEN WEITEN WEG ZURÜCKZULEGEN HAT, SIND DIE JAHRE DORT SEHR LANG. EIN MENSCH HÄTTE NUR ALLE 247 ERDENJAHRE GEBURTSTAG!



Paul Raymonde

# MISSION ZUM MARS

- LEBEN AUF DEM MARS?
- RIESENVULKANE
- BASISLAGER PHOBOS

JPL

**SANFT WIRD DAS RAUMSCHIFF von drei Fallschirmen, jeder so groß wie ein Fußballfeld, abgebremst, als es langsam in die dünne Marsatmosphäre hinabsinkt. Ein paar hundert Meter über dem rötlichen Wüstenboden zünden die Astronauten die Bremsraketen.**

Dünne Staubwolken wirbeln auf, als das Raumschiff mit seinen acht Astronauten weich auf der Oberfläche des Roten Planeten aufsetzt. Die erste bemannte Marsmission hat ihr Ziel erreicht. Auch wenn diese Szene heute noch Zukunftsmusik ist; irgendwann im 21. Jahrhundert wird sie wahrscheinlich Wirklichkeit.

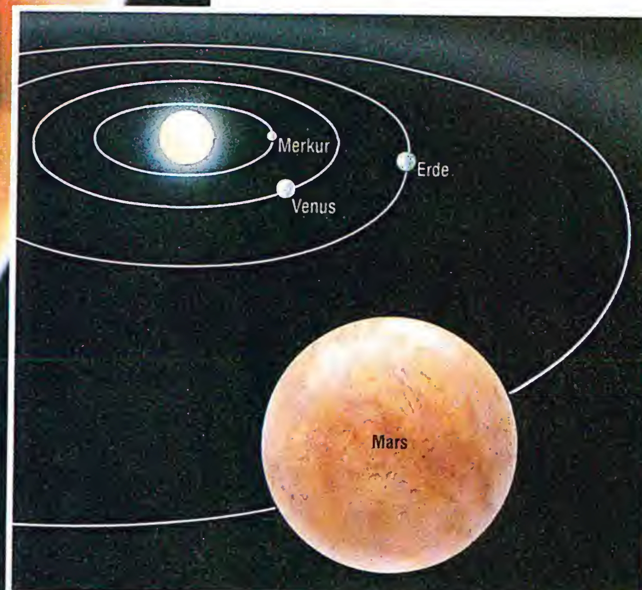
Schon heute arbeiten Wissenschaftler in den USA und der Sowjetunion an Planstudien und drängen ihre jeweiligen Regierungen, die nötigen Mittel für einen bemannten Flug zum Mars bereitzustellen: Als Nachbarplanet der Erde ist der Rote Planet relativ „leicht" zu erreichen — und er könnte vielleicht einen idealen „Vorposten" für die weitere Erforschung des Weltalls bilden.

## Kochendes Blut

In unserem Sonnensystem besitzt neben der Erde nur der Mars erträgliche Lebensbedingungen. Seine dünne Kohlendioxid-Atmosphäre ist zwar nicht atembar, aber auch nicht schädlich; und mit seiner durchschnittlichen Oberflächentemperatur von −23 °C ist der Mars nicht kälter als die Antarktis im Winter.

Dennoch werden die ersten Astronauten auf dem Mars nicht auf Luftschleusen, Schutzbauten und Raumanzüge verzichten können. Seine Atmosphäre ist so dünn, daß sie beinahe dem Vakuum entspricht; selbst wenn sie aus purem Sauerstoff bestehen würde, könnte ein Mensch sie nicht atmen, weil

▼ ***Mars ist der vierte Planet** des Sonnensystems. Da er der Erde am ähnlichsten ist, könnte er im nächsten Jahrhundert vielleicht zur ersten Weltraumkolonie der Menschen werden.*











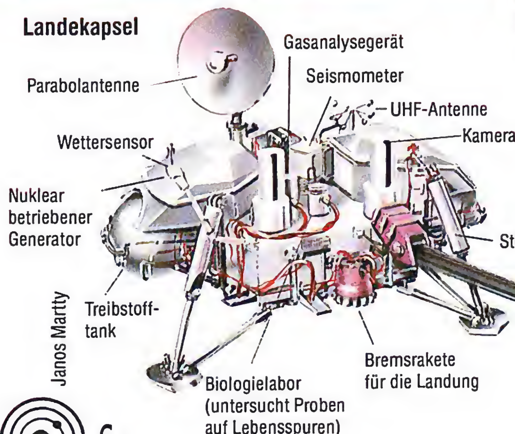
## MISSIONEN ZUM PLANETEN MARS

| Start | Nation | Name | Aufgaben |
|---|---|---|---|
| 28.11.1964 | USA | Mariner 4 | Vorbeiflug. Funkt Bilder der Marsoberfläche und Daten über die Zusammensetzung der Atmosphäre zur Erde. |
| 25.02.1969 | USA | Mariner 6 | Fotos vom Vorbeiflug zeigen Krater |
| 27.03.1969 | USA | Mariner 7 | Fotos von der Oberfläche beim Vorbeiflug |
| 30.05.1971 | USA | Mariner 9 | Auf Umlaufbahn um den Mars; übermittelt Hunderte von Fotos vom Planeten und seinen Monden, außerdem viele Meßdaten. |
| 25.07.1973 | UdSSR | Mars 5 | Umlaufbahn um den Mars; übermittelt Fotos von der Oberfläche und Meßdaten der Atmosphäre. |
| 05.08.1973 | UdSSR | Mars 6 | Übermittelt Daten aus der Atmosphäre; kurz vor Aufsetzen des Landefahrzeugs bricht der Kontakt ab. |
| 20.08.1975 | USA | Viking 1 | Erste weiche Landung auf dem Mars und erste Fotos direkt von der Oberfläche |
| 09.09.1975 | USA | Viking 2 | Weiche Landung auf dem Mars; Fotos von der Oberfläche |
| 7. und 12.7.1988 | UdSSR | Phobos | Zwei unbemannte Raumfahrzeuge. Funkkontakte zu beiden Raumfahrzeugen abgerissen (April 89) |
| 25.9.92 | USA | Mars Observer | Am 21.8.93, drei Tage vor Einschwenken in die Umlaufbahn Abreißen des Funkkontakts |
| Nov. 94 | GUS | Mars 94 | Geplante Ankunft August 95, Absetzen von 2 kleinen Landestationen |
| Aug. 96 | Japan | Planet-B | 300 kg schwerer Orbiter |
| 1996 | GUS | Mars 96 | Ankunft 1996/97 |

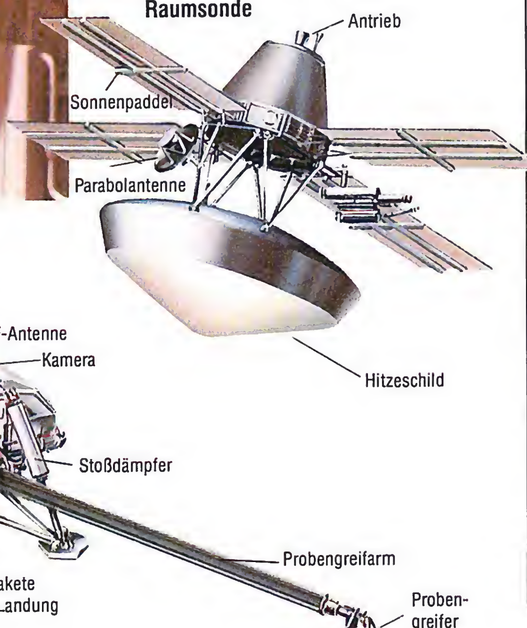
ihr Luftdruck zu niedrig ist. Unsere Körper brauchen einen viel höheren Luftdruck, um atmen zu können.

Ein weiteres gefährliches Problem ergibt sich aus der Tatsache, daß eine Flüssigkeit mit sinkendem Luftdruck immer früher zu kochen beginnt. Auf dem Gipfel eines hohen Berges kocht Wasser zum Beispiel schon bei 70° C. Auf dem Mars ist der Druck der Atmosphäre so niedrig, daß das Blut der Raumfahrer bereits bei Körpertemperatur den Siedepunkt erreichen würde.

Trotz der schwerfälligen Raumanzüge werden sich die Eroberer des Mars aber genauso leichtfüßig wie auf der Erde bewegen können. Die Gravitation, also die Anziehungskraft des Mars, ist nämlich viel geringer als die der Erde. Auf dem Mars wird ein Astronaut nur 38 Prozent von dem wiegen, was er auf der Erde auf die Waage bringt. Sollten irgendwann einmal die Olympischen Spiele auf dem Mars ausgetragen werden, wird es sicher eine Menge neuer Rekorde geben!




◄ ***1975 wurden zwei*** *amerikanische Viking-Raumsonden in eine Umlaufbahn um den Mars geschossen. Sie schickten Landekapseln zur Oberfläche, die weich auf dem Mars aufsetzten. Dieses Panorama einer typischen Marsoberfläche wurde von Viking 2 gesendet.*




## Der rote Planet

Nicht umsonst nennt man den Mars den Roten Planeten. Alles an seiner Oberfläche ist rot. Sogar der Himmel schimmert rosa, weil die Atmosphäre mit feinem roten Staub durchsetzt ist, der so leicht ist, daß er nicht zu Boden sinkt. Die rote Farbe wird durch Eisenoxide verursacht. Auch Rost ist ein Eisenoxid; der Boden des Mars enthält ähnliche Verbindungen, und so überrascht es nicht, daß der ganze Planet in einer Farbe leuchtet, die an rostiges Eisen erinnert.

Die Erforscher des Mars werden sich daran gewöhnen müssen, in einer windigen, rötlich schimmernden, endlosen Wüste zu leben, die von kleinerem und größerem Geröll übersät ist. Weil die Luft so dünn ist, können die Winde auf dem Mars viel schneller wehen – genauso, wie Wasser schneller als Öl fließen kann.

So entstehen orkanartige Stürme, die Sand- und Staubpartikel kilometerweit in die Atmosphäre emporwirbeln. Selbst

**AUF EINEN BLICK**

## MARS UND ERDE IM VERGLEICH

Ein Marstag ist nur eine halbe Stunde länger als ein Tag auf der Erde. Sonst haben der Rote und der Blaue Planet allerdings nur wenig gemeinsam.

| | Mars | Erde |
|---|---|---|
| Äquatordurchmesser | 6780 km | 12 756 km |
| Mittlere Entfernung zur Sonne | 227 Mio. km | 149 Mio. km |
| Masse | 0,107 Erdmassen | 1 Erdmasse |
| Volumen | 0,15 Erdvolumen | 1 Erdvolumen |
| Dichte | 3,9 g/cm³ | 5,5 g/cm³ |
| Anziehungskraft an Oberfläche | 0,38 Erdgravitationen | 1 Erdgravitation |
| Rotationsdauer | 24 h 37 m 23 s | 23 h 56 m 4 s |
| Dauer eines Umlaufs um die Sonne | 686,98 Erdtage | 365,26 Erdtage |
| Anzahl der Monde | 2 | 1 |


NASA

▲ ***Der flache Krater Argyrus*** *und die ihn umgebenden Berge entstanden, als ein großer Meteorit auf der Oberfläche des Mars einschlug.*

von der Erde aus kann man manchmal mit einem guten Fernrohr gewaltige Sandstürme auf der Oberfläche des Mars beobachten, die oft wochenlang den ganzen Planeten einhüllen.

Der Staub könnte die Astronauten auf dem Mars in erhebliche Schwierigkeiten bringen, denn er dringt selbst durch die kleinste Ritze. Geräte und Ausrüstungen müßten sorgfältig geschützt werden. Der feine Staub an den Stiefeln der Raumfahrer wird mit Sicherheit auch in die Marsbasis selbst eindringen – ähnlich wie der Mondstaub bei den Apollo-Missionen.

Stellen wir uns einmal vor, wir seien die ersten Astronauten auf der Marsoberfläche. Aus dem Fenster der Basis sehen wir wahrscheinlich vom Wind verwehte Dünen aus feinem, rötlichem Sand, bedeckt mit Steinen. Sie waren auch auf den eindrucksvollen Bildern zu sehen, die die beiden amerikanischen Viking-Sonden von der Oberfläche des Planeten zur Erde funkten.

## Touristenattraktionen

Mit etwas Glück können wir die „touristischen Sehenswürdigkeiten" des Roten Planeten besuchen, von denen es eine ganze Menge gibt.


Mike Sounders

***Die erste Marslandung*** *eines Menschen wird wahrscheinlich schon innerhalb der nächsten 25 Jahre erfolgen. Zwei Jahre werden die Astronauten für den Flug zum Mars brauchen; dann steigen sie in die Landekapsel um, die an fußballfeldgroßen Fallschirmen langsam zur Marsoberfläche schweben wird.*

Bei einem Ausflug zu den Marspolen sehen wir uns die Eiskappen an. Beide Pole des Mars sind vereist; die Eiskappen scheinen aber verschieden zusammengesetzt zu sein. Während es sich am Nordpol um gefrorenes Wasser zu handeln scheint, besteht die Eiskappe des Südpols wahrscheinlich aus gefrorenem Kohlendioxid, also aus Trockeneis. Beide Kappen dehnen sich im Winter aus, um im Sommer wieder zusammenzuschrumpfen. Dieses ständige Auftauen und Einfrieren hat an den Polen zur Bildung bizarr geformter Kliffstrukturen aus Eis geführt; vielleicht werden sie einmal eine der touristischen Hauptattraktionen des Sonnensystems!

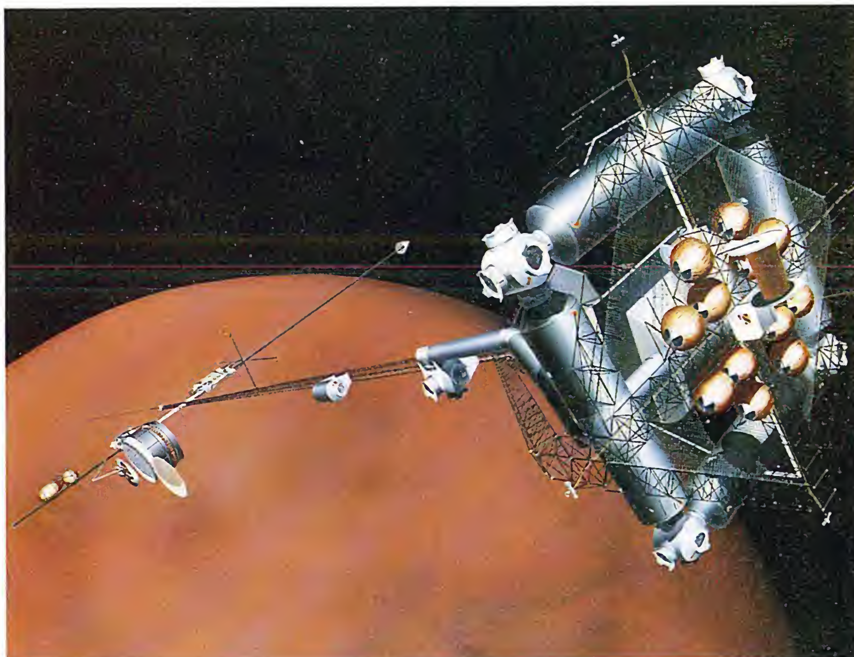
Was wir auf dem Mars aber nicht finden werden, sind die berühmten „Kanäle", die früher bei einigen Astronomen so viel Aufregung verursachten. Es muß sich bei ihnen um eine „Fata Morgana" gehandelt haben, denn dort, wo diese, angeblich von intelligenten Lebewesen geschaffenen Strukturen zu finden sein sollten, ist bei genauerer Betrachtung nichts zu entdecken. Die Marsmenschen und ihre Kanäle scheint es also, außer in Science-Fiction-Romanen, nie gegeben zu haben.

Genau wie die Erde hat auch der Mars seine Jahreszeiten. Ein Jahr auf dem Roten Planeten ist aber doppelt so lang wie ein Jahr auf der Erde. Die Länge des Tages wird den Marsforschern hingegen vertraut vorkommen: Er ist mit 24 Stunden und 37 Minuten nur um eine halbe Stunde länger als der Erdtag. Das ist für eine längere Besiedlung wichtig, da diese Tageslänge einen beinahe idealen Zyklus von Licht und Dunkelheit für von der Erde mitgebrachte Pflanzen und Tiere garantiert.

## Reiseziel Phobos

Jüngster Besucher des Mars war die russische Raumsonde „Phobos 2", die am 29. Januar 1989 ihre Umlaufbahn um den Mars erreichte und mit ihren Ver-





NASA

◀ *Eine solche Raumstation – hier eine amerikanische Studie – könnte man auch in eine Umlaufbahn um Phobos, einen der beiden Marsmonde bringen. Sie würde die Basis für ausgedehnte Bergbau- und Fabrikkomplexe auf Phobos bilden. Außerdem könnten von der Station aus auch Forschungsexpeditionen zum Mars unternommen werden.*

messungsaufgaben begann. In mehreren Stufen wurde ihre Flugbahn so geändert, daß sie sich allmählich einem der beiden Marsmonde, Phobos, bis auf 50 Meter näherte. Bei dem Vorbeiflug, der eine halbe Stunde dauerte, beschoß sie die Oberfläche des Marsmondes mit Laserstrahlen, um Staub zu verdampfen. So soll herausgefunden werden, aus welchem Material der Boden besteht. Zu den weiteren Aufgaben von „Phobos 2" sollte es auch gehören, zwei Sonden weich auf dem Marsmond abzusetzen, von denen die eine fest im Boden verankert werden sollte, um zwei Jahre lang wissenschaftliche Experimente durchzuführen. Die zweite Meßkapsel, der „Frosch", war mit zwei Sprungstangen ausgestattet, und sollte in zwanzig Meter langen „Hopsern" über die Oberfläche von Phobos hüpfen, um Bodenproben zu entnehmen. Leider riß im April 1989 der Funkverkehr zu Phobos 2 endgültig ab, nachdem die Sonde schon vorher auf ein Notfunkgerät geschaltet werden mußte, weil der Hauptsender kurz nach dem Start ausgefallen war.

## Forscher auf dem Mars

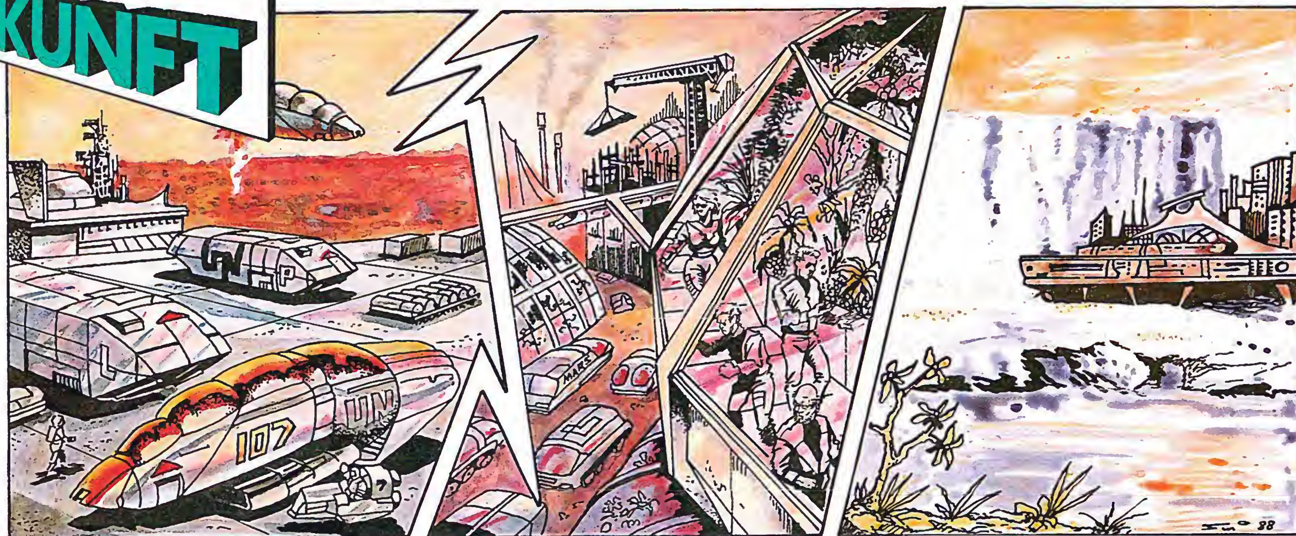
Ein ähnliches Schicksal erlitt auch die amerikanische Marssonde mit dem Namen Mars Observer. Zum Einschwenken in die Umlaufbahn des Mars mußten Lenkraketen gezündet werden, daher wurde die Funkverbindung unterbrochen. Der Transmitter ließ sich anschließend allerdings nicht mehr einschalten, und das Fahrzeug mußte drei Tage vor der geplanten Ankunft aufgegeben werden. Seither rast es steuerlos durch den Raum.

Rußland bereitet den Flug von Mars 94 und Mars 96 vor, benannt nach den Ankunftsjahren, doch knappe Finanzen haben die Projekte schon schrumpfen lassen. Japan hingegen will seinen Planet-B 1996 pünktlich in eine Umlaufbahn um den roten Planeten bringen.

Ungewiß ist die Zukunft des bemannten Marsflugs, denn die Kosten sind wirklich astronomisch. NASA-Wissenschaftler rechnen mit dem 20fachen des Apollo-Mondflugs, und ob nach dem Jahr 2000 die USA und Europa für eine gemeinsame Marsstation wirklich das Geld aufbringen können, bleibt fraglich. Technisch wäre es kein allzu großes Problem. Die Reise würde zwei bis drei Jahre dauern, und die Mannschaft könnte sechs Monate auf dem Planeten forschen. Das bedeutet, daß sie eine völlig unabhängige, auf sich selbst gestellte Basis auf dem Mars einrichten müßte. Viele Wissenschaftler sind jedoch der Meinung, daß diese Arbeiten von unbemannten Sonden ebenfalls ausgeführt werden können – und zwar erheblich billiger. Zwischen 1999 und 2003 plant deshalb die NASA, drei oder sechs kleine Landegeräte zum Mars zu schicken, die von dort Klimadaten übertragen. Ob die amerikanischen und russischen Projekte Wirklichkeit werden, hängt allein davon ab, ob genügend Geld flüssig ist.

## BLICK IN DIE ZUKUNFT

### BASIS AUF DEM MARS



Allan Burrows

▲ *Ein fahrplanmäßiger Marsbus bringt Reisende von einem riesigen Transportraumschiff zur ständigen Marsbasis.*

▲ *Fabriken stellen Treibstoff, Dünger und sogar Sauerstoff aus dem Gestein des Mars her. Nahrung wird in Gewächshäusern gezüchtet.*

▲ *An den Polkappen werden Pflanzen gezüchtet, die die Sonnenwärme speichern. Das Eis schmilzt, Seen entstehen wie auf der Erde.*

# LEBENSWEG EINES STERNS

◀ ***Der Orionnebel,** eine Staub- und Gaswolke, in der neue Sterne geboren werden. Die Farben in diesem Bild hat ein Computer errechnet, um die Grenzen zwischen verschiedenen Helligkeitsstufen deutlich zu zeigen. Wie in solchen Nebeln Sterne entstehen, zeigen die Abbildungen unten.*

**AM 24. FEBRUAR 1987 spielte sich am nächtlichen Himmel ein Schauspiel ab, das die Astronomen in der ganzen Welt in Aufregung versetzte: In einer benachbarten Galaxie war ein Stern in einer gewaltigen Detonation zu einer Supernova geworden. Seit dem Jahre 1604 war ein solches faszinierendes Phänomen nicht mehr in der Nähe unserer Milchstraße beobachtet worden.**

Unveränderlich und ewig scheinen die Sterne am Nachthimmel zu stehen. Die Sonne zum Beispiel leuchtet jetzt schon seit 4,5 Milliarden Jahren konstant und gleichmäßig. Dennoch kann auch ein Stern nicht ewig leben: Er wird geboren, er altert und stirbt – manchmal in einem spektakulären Feuerwerk.

Gewaltige Wolken aus Staub und Gas treiben durch unsere Galaxie. Sie bestehen zum größten Teil aus fein verteiltem Wasserstoffgas. Im Laufe der Jahrmillionen kann es dazu kommen, daß das Schwerefeld einer solchen Wolke die Staub- und Gasteilchen der Wolke zu dickeren Klumpen zusammenzieht.

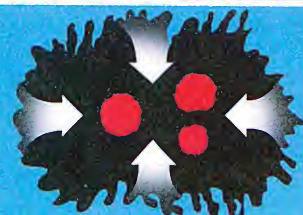


Ronald Royer/SPL Dr. Frank Espenak/SPL

▲ ***Diese Galaxie** hat eine besonders ausgeprägte Spiralform. Das Licht von diesem Sternensystem braucht zwanzig Millionen Jahre, um zu uns zu gelangen.*

Langsam verdichten sich diese Klumpen und schrumpfen unter dem Einfluß ihrer eigenen Schwere. Dabei werden sie heißer und heißer, denn die Gravitationswärme in ihrem Inneren wandelt sich in Wärme um.

Schließlich erhitzt sich das Wasserstoffgas im Inneren des Protosterns auf über 15 Millionen Grad Celsius, und der Stern beginnt zu leuchten. In seinem Inneren hat eine Kernfusion begonnen, der gleiche physikalische Prozeß, der auch in einer explodierenden Wasserstoffbombe abläuft. Was als nächstes passiert, hängt vom Gewicht des neuen Sterns ab. Wenn seine Masse sehr groß ist, wird dadurch sein Kern stark zusammengedrückt und das Wasserstoffgas wird durch diesen Druck in das nächsthöhere Element Helium verwandelt. Obwohl ein so schwerer Stern sein Leben mit einem besonders großen Vorrat an Wasserstoff beginnt, „vergeudet" er seinen wichtigsten Fusionstreibstoff sehr schnell. Schon innerhalb weniger Millionen Jahre muß er beginnen, seine schwereren Elemente zu „verheizen".



*Aus Staub und Gas bilden sich Klumpen.*



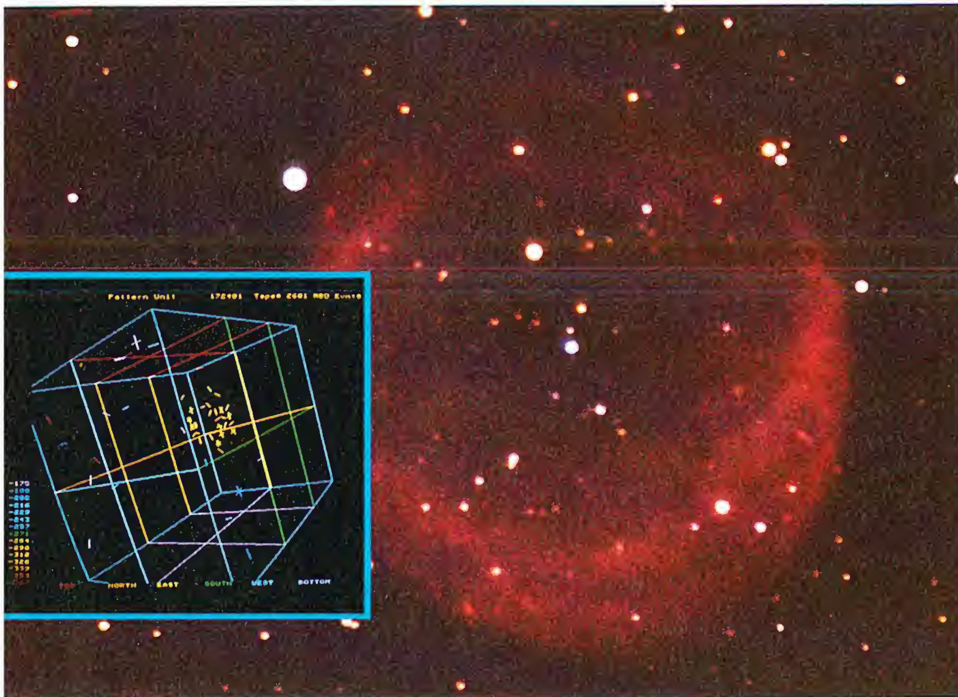
*Im Kern des Klumpens entsteht durch Energie Hitze.*



*Durch die Energie wird überschüssiger Staub weggeblasen.*








Inset: IMB/SPL

California Institute of Technology

▲ ***Der Aquila-Nebel*** *ist ein sogenannter Planetarischer Nebel, eine Wolke aus Staub und Gas, die ein explodierter Stern, eine Supernova, hinterlassen hat. Das kleine Bild zeigt die vom Computer gezeichnete Spur eines Neutrinos. Dieses Teilchen aus der Supernova-Explosion des Sterngiganten Sanduleak kam 1987 auf der Erde an.*

Diese Elemente, vor allem Helium und Kohlenstoff, liefern aber viel weniger Energie als der Wasserstoff. Schließlich verliert der Riesenstern seine Fähigkeit, durch Fusion neue Energie zu schaffen — der Treibstoff ist alle. Ohne Energie kann aber der Kern des Sterns das enorme Gewicht der ihn umgebenden Masse nicht mehr halten. Der Stern stürzt in sich zusammen, um sofort darauf in einer ungeheuren Explosion auseinanderzufliegen. Nur sein Kern bleibt zurück; die Gashülle des Sterns wird mit einer Geschwindigkeit von 5000–10 000 km/s ins All geblasen.

In ungefähr fünf Milliarden Jahren wird auch unsere Sonne den Wasserstoff in ihrem Zentrum, den sie in Energie umwandelt, verbraucht haben. Für eine Weile wird der Kern dann aufhören, Energie zu produzieren und beginnt zu schrumpfen; dabei wird er immer heißer. Die äußeren Schichten der Sonne werden sich derweil ausdehnen, da die Energie, die sie zusammenhält, nicht mehr vorhanden ist. Die Sonne wird zu einem Roten Riesen — und das Leben auf der Erde für immer unmöglich.

Schließlich wird der Kern der Sonne so heiß, daß Helium durch Fusion in Kohlenstoff umgewandelt wird. Der Kern produziert wieder Energie, und die Sonne schrumpft. Dieser Prozeß wird zu einem Kreislauf, so daß die Sonne in den folgenden Jahrmillionen „atmen" wird: Wie eine Lunge werden sich ihre aufgeblähten Schichten ausdehnen und zusammenziehen. Bei jedem „Atemzug" geht aber von der Oberfläche des Sterns etwas Gas verloren, das ins All entweicht. Ganz allmählich wird die Sonne so ihre gesamte Atmosphäre verlieren, bis von ihr nur noch der heiße, massereiche Kern zurückbleibt, kaum größer als die Erde und mit einer Oberflächentemperatur von 100 000° Celsius. Die Sonne hat sich in einen Weißen Zwerg verwandelt.

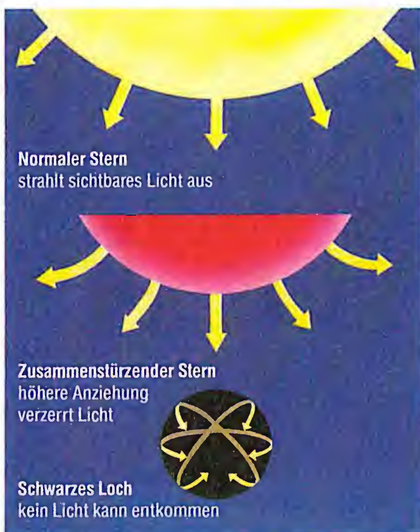
Ob in einer dramatischen Explosion oder ganz allmählich — alle Sterne geben Materie wieder an das Weltall zurück. Dieser „Sternenmüll" sammelt sich zu Gas- und Staubwolken. Die Wolken schrumpfen zu Klumpen und der Kreislauf beginnt von neuem.



NASA

▲ ***Eine Sonnenfackel*** *schießt von der Oberfläche in den Weltraum. Diese spektakuläre Gasexplosion hatte eine Ausdehnung von über 580 000 Kilometer. Die Erde ist zum Vergleich im gleichen Maßstab abgebildet.*

## DAS RÄTSEL DER SCHWARZEN LÖCHER



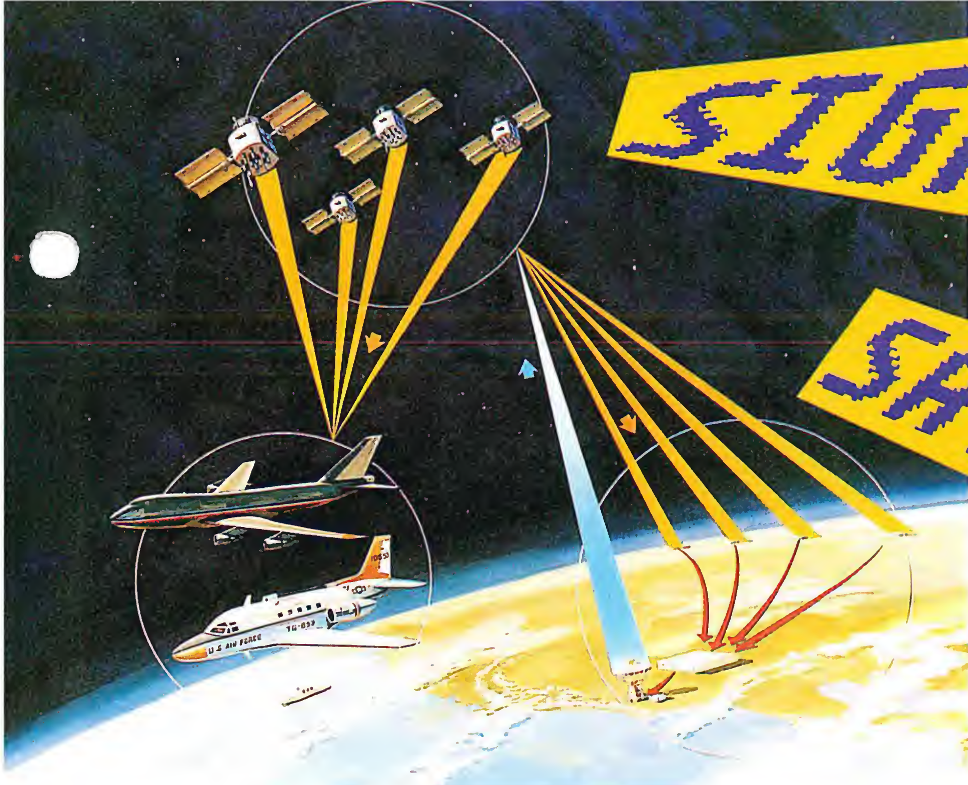

USAF/Berry Fallon Design

Wenn ein Sterngigant zur Supernova wird, schleudert er seine Gashülle in den Weltraum. Nur der massereiche Kern bleibt zurück und schrumpft immer weiter in sich zusammen. Das kann so lange weitergehen, bis der Stern aus einem kompakten Ball von Neutronen besteht, einem superschweren Neutronenstern. In manchen Fällen kann der Neutronenstern sich sogar noch weiter verdichten, bis ein Schwarzes Loch entsteht, ein winziger Materiekörper mit einer Anziehungskraft, der nichts in seiner Umgebung entkommen kann, nicht einmal Lichtstrahlen — deshalb ist er schwarz.

## Kaum zu glauben




Paul Raymonde



# SIGNALE via SATELLIT

- TV-ÜBERTRAGUNG
- MIKROWELLEN
- VERKEHRSFUNK

SPL

**DIE BOEING 747 BEFINDET SICH mitten über dem Atlantik; noch drei Stunden Flugzeit bis New York. Das Essen ist serviert worden, es kehrt Ruhe in der Kabine ein. Einer der Passagiere bittet den Steward ums Telefon. Er möchte von seinen Geschäftspartnern in London letzte Informationen, bevor er in New York seine Verhandlungen beginnt. Der Steward bringt ihm das Telefon an den Platz, er wählt die Nummer und in Sekunden ist die Verbindung zur Erde hergestellt.**

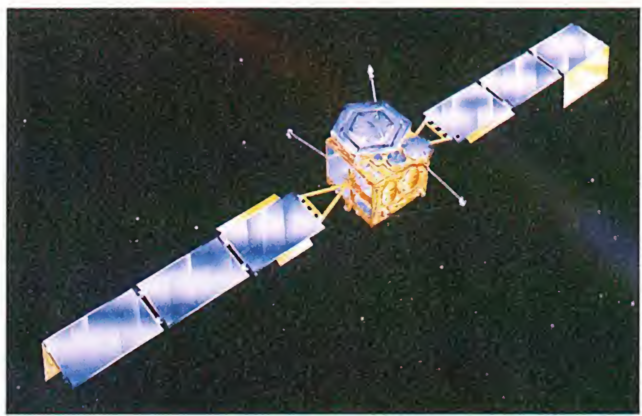
Seit Anfang der neunziger Jahre ist dies auf Langstrecken nichts mehr Ungewöhnliches. Angefangen hatte das Telefonieren m Flug schon einige Jahre vorher auf inneramerikanischen Strecken. Die Gespräche werden vom Flugzeug direkt zu einem der Nachrichtensatelliten geleitet, von dort zu einer Bodenstation und schließlich ins Netz.

Satelliten spielen heute eine ganz wichtige Rolle im Nachrichtenaustausch zwischen weit entfernten Orten und Kontinenten. Dabei nehmen nicht nur Telefongespräche den Umweg über den Weltraum, sondern auch Fernsehsendungen und Computerdaten werden sicher, schnell und fast verzögerungsfrei rund um den Erdball geschickt.

Bevor es technisch möglich wurde, leistungsfähige Satelliten zu bauen und in den Weltraum zu schießen, mußten alle interkontinentalen Telefongespräche und Fernsehübertragungen über Unterseekabel geführt werden, die, von riesigen Schiffen verlegt, auf dem Boden der Weltmeere lagen. Auf diesem Weg konnten aber nur relativ wenige Gespräche gleichzeitig vermittelt werden.

## Am Himmel verankert

Heute befinden sich Nachrichtensatelliten über zahlreichen Punkten der Erde. Jeder Satellit sendet unterschiedliche Signale auf getrennten Frequenzen. Die meisten Nachrichtensatelliten müssen

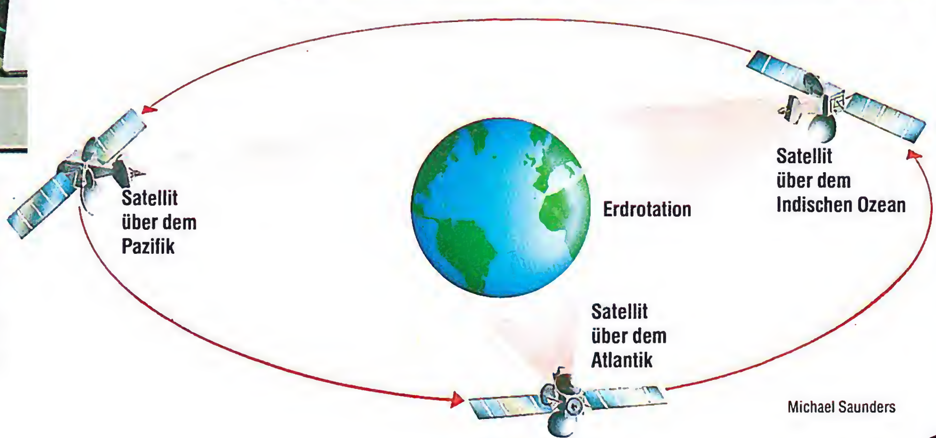


► ***Inmarsat 2** hieß der europäische Nachrichtensatellit, der 1989 startete. Seine Sonnenpaddel sind 15,23 m lang. Er kann 250 Gespräche gleichzeitig übermitteln, die von Schiff, Flugzeug oder Auto aus geführt werden.*

INMARSAT



ZEFA

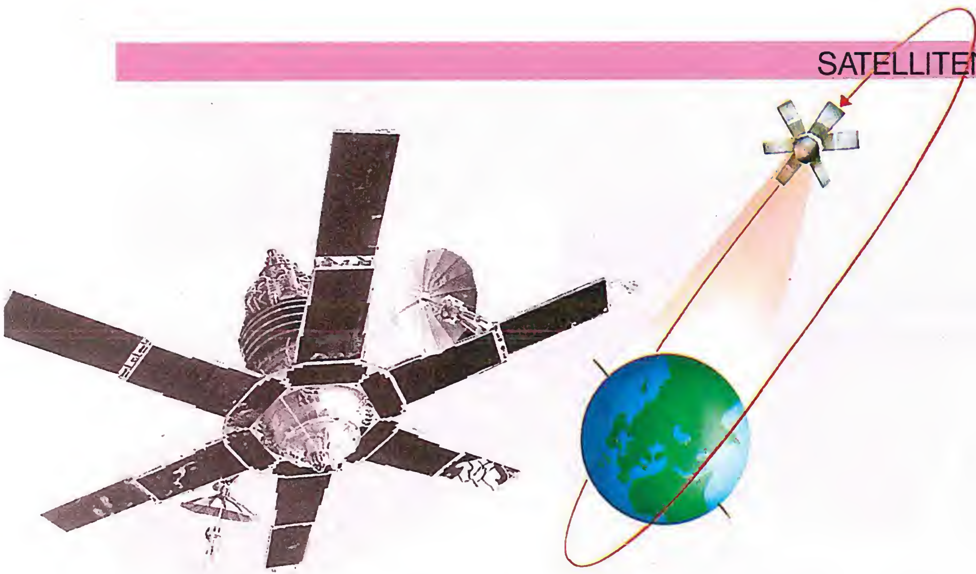



► ***Ein System** von drei Satelliten auf geostationärer Umlaufbahn kann mit seinen Signalen fast jeden Punkt der Erde erreichen. Über dieses erdumfassende System werden neben Telefongesprächen auch Fernsehsendungen und Computerdaten übertragen.*

Michael Saunders







Geostationäre Satelliten können von ihrer Umlaufbahn in Äquatorhöhe rund 40 Prozent der Erdoberfläche abdecken, die von ihnen abgestrahlten Funksignale sind jedoch in polnahen Gebieten kaum zu empfangen. Um die Nachrichtenverbindung in die nördlichen Gebiete der damaligen Sowjetunion zu verbessern, wurden die Satelliten der Molnija-Reihe entwickelt. Sie fliegen in einer sehr gestreckten elliptischen Bahn um die Erde, die größte Entfernung beträgt 40 000 km. Dadurch wird der Streukegel der Funksignale breiter und erreicht für mehrere Stunden auch die nördlichsten Gebiete. Eine Bodenstation verfolgt die Satelliten und kann in der „aktiven Zeit" Signale senden und empfangen.

Tophan Picture Library

ständig an einem festen Punkt über der Erde stehen. Nur so können die Sende- und Empfangsantennen am Boden jederzeit genau ausgerichtet bleiben. Eine solche „geostationäre" Position läßt sich nur auf einer Umlaufbahn in 35 900 km über dem Äquator einhalten — das entspricht einem Zehntel der Entfernung zwischen Erde und Mond.

## Punktgenau

Satelliten auf geostationären Bahnen umrunden die Erde in der gleichen Zeit, die die Erde für eine Drehung um die eigene Achse benötigt, nämlich 23 Stunden und 56 Minuten. So scheinen die Satelliten immer über dem selben Punkt der Erdoberfläche zu verharren.

Telefongespräche, Fernsehprogramme und Daten werden von den großen schüsselförmigen Antennen der Bodenstationen zum Satelliten hinaufgesendet. Dazu nutzt man sehr kurze Wellen (Mikrowellen), da sie ohne nennenswerte Störungen die Erdatmosphäre passieren können.

## Hausantenne

Der Satellit empfängt die ankommenden Signale mit einer kleineren Parabolantenne, verstärkt sie und sendet sie fast verzögerungsfrei zum Empfänger auf einem anderen Erdteil zurück. Wenn die Funksignale wieder auf der Erde ankommen, bilden sie keinen scharf gebündelten Strahl mehr. Sie sind breit aufgefächert und treffen auf ein relativ großes Gebiet auf. Sie können mit kleinen Parabol-Antennen, die sich auf jedem Hausdach montieren lassen, empfangen werden. Die Mikrowellen treffen auf die Innenfläche der Antenne und werden so reflektiert, daß sie sich im Brennpunkt der Antennenschüssel sammeln. Dort, im Brennpunkt, ist ein Empfänger angebracht, der sie auffängt.

## Kaum zu glauben

**SCHROTT IM ALL**

ÜBER 7500 GROSSE STÜCKE SCHROTT UND MEHR ALS 1,5 MIO KLEINE BROCKEN KREISEN UM DIE ERDE. DER SCHROTT IST BIS ZU 15 KM/SEK SCHNELL UND DAHER FÜR RAUMSCHIFFE GEFÄHRLICH.

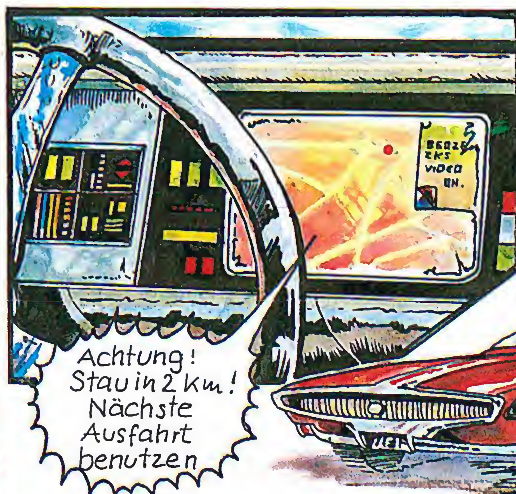



Paul Raymonde

## BLICK IN DIE ZUKUNFT

## NAVIGATION IM AUTO-COCKPIT









Alan Burrows

▲ *Autos werden bald serienmäßig mit Computern ausgestattet sein, die Signale von Navigationssatelliten in der Erdumlaufbahn empfangen.*

▲ *Im Computer sind Landkarten eingespeichert. Aus den Signalen der Satelliten errechnet er die Position und zeigt sie auf der Karte an.*

▲ *Eine Computerstimme kann dem Fahrer die kürzeste Fahrtroute nennen und Tips geben, wie er bei Staus auf Umwegen zum Ziel kommt.*

- LEBEN AUF ANDEREN PLANETEN?
- BELAUSCHTE STERNE
- NACHRICHTEN AN AUSSERIRDISCHE

# AUF DER SUCHE NACH E.T.



**DR. TOM MCDONOUGH, Astrophysiker am kalifornischen Institut für Technologie, erwartet schon lange ein ganz bestimmtes Ferngespräch. Sollte es jemals eintreffen, wäre es die Sensation des Jahrhunderts: die erste Nachricht von anderen Lebewesen im All!**

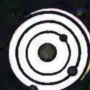
Schon seit 1960 suchen Radioastronomen nach offenen oder verschlüsselten Funkbotschaften, die von fremden, fernen Zivilisationen stammen könnten — doch bislang ohne jeglichen Erfolg. Sie lauschen mit großen Antennen in den Weltraum hinaus und schicken Botschaften ins All, um damit mögliche intelligente Lebewesen auf uns Menschen aufmerksam zu machen.

Wie viele Zivilisationen gibt es im All, mit denen wir Kontakt aufnehmen könnten? Die Wissenschaftler streiten sich natürlich bei der Beantwortung dieser schwierigen Frage. Übereinstimmung herrscht allenfalls darin, daß es Him-

◄ ***Dieses Piktogramm*** *wurde 1974 vom Radioteleskop in Arecibo zum Kugelsternhaufen M 13 gesandt. Es besteht aus 1679 Ein/Aus-Radioimpulsen. Die Botschaft enthält Angaben zur Biochemie des Lebens, zum Aussehen der Menschen und über das Radioteleskop (von oben nach unten).*









Daily Telegraph Colour Library

▲ ***Das Radioteleskop*** *von Arecibo auf Puerto Rico hat einen Durchmesser von 305 m. Die Antennenschüssel wurde fest in ein Tal eingebaut; aber durch Veränderung der hängenden Dipolantenne im Brennpunkt über der Schüssel kann die Blickrichtung etwas verändert werden.*

**Kaum zu glauben**

*HIER ERDE – WER DORT?*

DIE BOTSCHAFT AN DEN STERNHAUFEN M 13 WURDE 1974 ABGESANDT – FALLS SIE DORT JEMAND EMPFANGEN HAT, KANN DIE ANTWORT FRÜHESTENS IN 50 000 JAHREN EINTREFFEN.



Paul Raymonde

melskörper gibt, auf denen Leben denkbar ist. Einer der ersten Astronomen, der sich auf die Suche nach E.T. – extraterrestrischem, also außerirdischen – Leben machte, war der Amerikaner Frank Drake. Er entwickelte 1959 eine Formel, nach der sich die Zahl der gleichzeitig lebenden Zivilisationen abschätzen ließe. Diese Formel berücksichtigte die Geburtenrate von Sternen und die Zahl der Planeten, auf denen sich Leben entwickeln könnte. Voraussetzung dafür ist, daß die chemischen Elemente, aus denen Lebewesen bestehen, dort vorkommen. Ohne Kohlenstoff und Sauerstoff ist Leben undenkbar, auch muß Wasser in flüssiger Form vorhanden sein.

## 72 000 Frequenzen

Schließlich muß auch die Zeitspanne berücksichtigt werden, die eine Zivilisation zu ihrer Entwicklung braucht und den technischen Standard erreicht, um mit anderen Planetensystemen in Kontakt zu treten. Doch die Formel von Drake stieß auf viel Kritik, da sie sich zu sehr auf Schätzungen verließ.

Die Suche nach außerirdischen Funkbotschaften ist etwas komplizierter als das Einstellen eines Senders am Radio. Nicht nur gibt es Milliarden von Sternen im All, es gibt auch unzählig viele Frequenzen, auf denen eine Botschaft übermittelt werden könnte. Die mühsame Suche wird durch moderne elektronische Hilfsmittel erleichtert. Das riesige Radioteleskop in Arecibo wertet die eintreffenden Signale in einem Mehrkanal-Spektral-Analysegerät aus. Wenn mit der Antenne ein bestimmter Stern angepeilt wird, hört das System die Funksignale auf 27 000 unterschiedlichen Frequenzbändern ab. Jedes einzelne Band wird dann nochmals in 72 000 Einzelfrequenzen zerstückelt und auf verwertbare Informationen abgehorcht. Zwar wurden schon zahlreiche künstliche Signale aufgefangen, doch stammten sie von irdischen Satelliten!

Mit jeder Verbesserung der elektronischen „Himmelsschnüffler" steigen auch die Erfolgsaussichten der Radioastronomen. Dr. Donough jedenfalls ist zuversichtlich, daß er nicht mehr lange auf sein Ferngespräch warten muß. Die meisten Wissenschaftler allerdings rechnen mit Wartezeiten von einigen zehntausend Jahren!



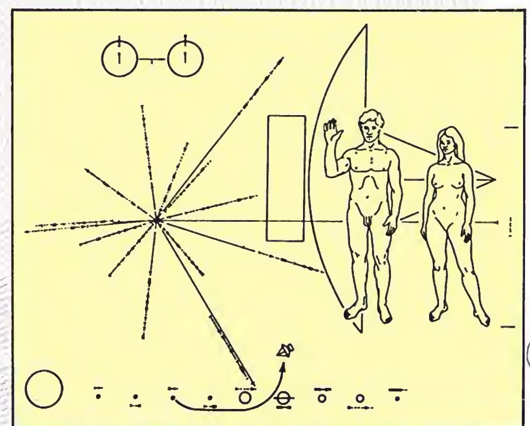
Frank Spooner Pictures

South American Pictures

▲ ***Die riesigen Felszeichnungen*** *von Nazca geben den Archäologen bis heute Rätsel auf, denn man kann sie nur aus der Luft erkennen. Ihre Entstehung gehört zu den letzten Geheimnissen der Erde. Immer wieder gibt es Berichte von Menschen, die fremde Raumschiffe oder „UFOs" (Unbekannte Fliegende Objekte) gesehen haben wollen, wie die „Untertasse", die 1979 über einem Fußballstadion in Columbia fotografiert wurde. Fast alle diese „Begegnungen der dritten Art" fanden aber eine ganz normale Erklärung.*

**DIE REISE INS UNBEKANNTE**

Die Raumsonden Pioneer 10 und 11, die 1972 und 1973 starteten, tragen beide eine gravierte Metallplatte mit einer Botschaft der Menschheit an mögliche andere intelligente Lebewesen im All mit sich. Die von dem Wissenschaftler Carl Sagan entworfene Plakette zeigt den Flug der Sonde aus unserem Sonnensystem ins Unbekannte (unten), einen „kosmischen Datumsstempel" (Mitte links) und die Größe der Menschen im Vergleich zur Sonde. Die beiden Kreise links oben beziehen sich auf Wasserstoff, das häufigste Element im Weltall, ohne das Leben nicht denkbar ist.



# WOHNEN IM WELTRAUM

- KÜNSTLICHE SCHWERKRAFT
- LANDWIRTSCHAFT IM ALL
- STRAHLENSCHUTZ

Sonnenzellen
Kopplungsstutzen
Ausstiegsluke
Stauraum für Raumanzüge
Trimmfahrrad
Kraftmaschine
Schlafplatz
Luftschleuse
Lagerfächer
Filtersystem
Raumstation Saljut 7
Progress-Versorgungsschiff
Pressluftanks
Andockfühler
Sojus-Raumschiff
Hauptkontrollkonsole
Sauerstofftanks
Klapptisch
Trainings-Laufrad
Modul für wissenschaftliche Experimente
Fäkalienbehälter
Wassertanks
Tanks für Wasser, Sauerstoff und Brennstoffe

**SCHON HEUTE VERDIENEN Weltraumfirmen ihr Geld, indem sie militärische, wissenschaftliche und industrielle Satelliten in den Orbit schießen. Raumkraftwerke und Flüge zu anderen Planeten sind geplant. Es gibt nur einen Unsicherheitsfaktor: den Menschen im Raum.**

Ein ernstes medizinisches Problem für jeden Astronauten ist die Tatsache, daß sein Körper ohne die Schwerkraft kein Kalzium für die Knochen produziert. Der Kalziumverlust kann bis zu zwei Prozent im Monat betragen. Eine längere Reise durch den Weltraum würde die Raumforscher für immer verkrüppeln.

## Künstliche Schwerkraft

Für ausgedehnte Weltraumaufenthalte muß ein Ausweg gefunden werden. Schon heute wird in Raumstationen durch Rotation eine Art künstliche Schwerkraft erzeugt. Die bei Drehung um die Mittelachse entstehende Fliehkraft ist am äußeren Rand der Station am stärksten. Als günstigste Bauweise für Raumstationen empfahl der deutsche „Vater der Raumfahrt" Wernher von Braun daher schon in den 40er Jahren eine Ringform, die wie ein Schwimmreifen mit Speichen aussieht. Wenn eine solche rotierende Station groß genug wäre, würde sie erdähnliche Verhältnisse schaffen, in denen sich Pflanzen und

## SALJUT 7

Bis zu einem Jahr ist die russische Raumstation Mir Heim und Arbeitsplatz einer zweiköpfigen Besatzung. Die SOJUS-Raumfähre sorgt für den Fährtransport zwischen der Erde und der Station; sie bleibt angekoppelt, solange sich die Kosmonauten in der Raumstation befinden. Die Kosmonauten können direkt von der angedockten Raumfähre in die Station umsteigen. Die unbemannten PROGRESS-Versorgungsschiffe, die Nachschub an Nahrung und Ausrüstung bringen, können ebenfalls an Mir ankoppeln. Eine Schleuse erlaubt der Besatzung das Verlassen der Station, um Reparaturen, etwa an den flügelähnlichen Solarzellen, auszuführen. Der Forschungsschwerpunkt liegt in den Auswirkungen der Schwerelosigkeit auf Organismen, auch auf den menschlichen. Es hat sich gezeigt, daß Menschen für längere Zeit unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit im Weltraum leben können, ohne an ihrer Gesundheit Schaden zu nehmen.






NASA

**◀ Arbeit im Raumlabor** – *das bedeutet vor allem stundenlange Routineüberprüfungen. Freizeitbeschäftigungen sind wichtig, verhindern Langeweile.*

Bäume normal entwickeln könnten.

Auf Raumschiffen und in kleineren Stationen, wo die fehlende Schwerkraft nicht künstlich erzeugt werden kann, bereiten selbst einfache Vorgänge wie Essen oder Waschen große Schwierigkeiten. Leicht segeln Essensreste als Klumpen oder als flüssige Kugeln unkontrolliert durch den ohnehin schon engen Lebensraum. In der Frühzeit der Weltraumfahrt befand sich das „Raumfutter" daher in Beuteln oder Tuben, aus denen Nährstoffbrei durch ein Röhrchen direkt in den Mund gedrückt wurde. Diese Mahlzeiten erwiesen sich bald als ziemlich unbeliebt — heute werden Astronauten mit Menüs versorgt, die eine größere Ähnlichkeit mit dem Essen auf der Erde haben.

## Das „Örtchen" im All

Auch wenn die Astronauten ein menschliches Bedürfnis verspüren, sind dafür in der Schwerelosigkeit spezielle Vorrichtungen nötig. Weltraumtoiletten sind mit Bauchgurten sowie mit Hand- und Fußgriffen ausgestattet, die den Astronauten sicher auf dem abgedichteten Sitz festhalten. Ansaugströme und Unterdruck befördern feste Ausscheidungen in einen Tank, wo sie mit rotierenden Klingen zerkleinert werden. Für spätere Untersuchungen werden sie getrocknet und aufgehoben.

Uriniert wird entweder in Katheter, die für „Sie" und „Ihn" verschiedene Endstücke aufweisen oder in einen für beide Geschlechter geeignete Behälter. Der Urin wird durch Ventile ins Freie geleitet, wo er sofort zu funkelnden Eiskristallen gefriert. Gelegentlich bilden sich störende Eiszapfen am Auslaß, die mittels eines eigens angebrachten Robotergreifers entfernt werden müssen.

Auf den geplanten Langzeitstationen und auf „großer Fahrt" zu den Nachbarplaneten wird das verbrauchte Wasser zu Trinkwasser und als Mischflüssigkeit für die Zubereitung von Trockennahrung aufbereitet werden. Filteranlagen erzeugen aus dem Wasser, dem Urin und dem Kohlendioxid der Ausscheidungen reines Wasser und Sauerstoff. Auch als Nebenprodukt der Energieerzeugung durch die Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff in Brennstoffzellen entsteht Wasser.

## Anbau von Nutzpflanzen

Größere Raumstationen mit künstlicher Schwerkraft und künstlichem Klima könnten Nahrungsmittel durch Anbau von Nutzpflanzen produzieren. Hierbei ist die Kultivierung in Nährlösungen praktikabler als der Anbau auf Mutterboden. Tiere als Nahrungsmittellieferanten sind verhältnismäßig unwirtschaftlich, obschon eine kleine Zucht auf langen Flügen den Speisezettel abwechslungsreicher gestalten würde. Die Selbstversorgung der Besatzungen könnte auch durch die Produktion synthetischer Nahrungsmittel in kleinen, mikrobiologischen Anlagen erreicht werden.

Strahlung ist eine ständige Gefahr im All. Besonders gefürchtet sind die heftigen Sonneneruptionen oder Sonnenfackeln. Diese kosmischen Ereignisse setzen energiereiche Protonen frei, die einfache Schutzschilde mühelos durchdringen. Selbst in den solaren Ruheperioden ist die jährliche Strahlendosis im All um etwa das Zwanzigfache höher, als es die amerikanischen Sicherheitsbestimmungen für Strahlenbelastung auf der Erde erlauben. Auch dieses Problem muß gelöst werden, bevor Flüge zu fernen Planeten möglich sind.




Paul Raymonde

## WELTRAUM-MENÜ





Eine typische Mahlzeit an Bord eines amerikanischen Raumschiffes kann so aussehen: Geräucherte Pute, verschiedenes Gemüse, Tomatencremesuppe und Erdbeeren; Erdnüsse und getrocknete Früchte gibt es als Zwischenmahlzeiten. Gefriergetrocknetes Essen wird durch Besprühen mit einem Wassersprüher zubereitet. Eine Heißwasserdüse für Tee, Kaffee und Kakao ist ebenfalls vorhanden. Die Getränke werden durch ein Röhrchen gesaugt oder aus einem weichen Plastikbehälter direkt in den Mund gepreßt.

# SATELLITEN KILLER

- JAGDRAKETEN
- WELTRAUMMINEN
- LASERKANONEN

**MILITÄRISCHE SATELLITEN sind die Augen und Ohren der Großmächte. Ohne sie sind ihre Streitkräfte blind und taub. Bei Ausbruch eines Krieges würden daher alle Beteiligten versuchen, die Satelliten des Gegners mit Anti-Satelliten-Waffen, sogenannten ASAT, zu zerstören.**

Mehr als drei Viertel aller Satelliten, die um die Erde kreisen, dienen ausschließlich militärischen Zwecken. Sie dienen zur Übermittlung des Funkverkehrs, der Navigation und natürlich der Spionage. Der Kampf um die Weltraumwaffen ist daher im Ernstfall besonders wichtig. Die Streitkräfte der GUS, also der Gemeinschaft Unabhängiger Staaten, stützen sich dabei auf Killer-Satelliten, während die USA sich mehr auf ihre ASAT-Anti-Satelliten-Raketen verlassen.

## Killer-Satelliten

Das russische System zur Bekämpfung von Satelliten besteht aus einer Rakete, die einen Jagdsatelliten in seine Umlaufbahn befördert. Von dort aus kann er Ziele angreifen, die bis zu 5000 Kilometer über der Erde kreisen.

Der „Satelliten-Jäger" wird in eine niedrigere Umlaufbahn als sein „Opfer" geschossen; denn dort muß er eine kürzere Strecke zurücklegen, um es einzuholen. Hat er die richtige Position „unter" dem Zielobjekt erreicht, zündet er seine Triebwerke, steigt in dessen Umlaufbahn und steuert mit Hilfe seines Bordradars oder mit Infrarotsensoren auf den feindlichen Satelliten zu. Sobald der Jäger nahe genug an sein Opfer herangekommen ist, explodiert der Gefechtskopf und zerstört das Ziel durch einen gewaltigen Splitterhagel.

## ASAT-Raketen

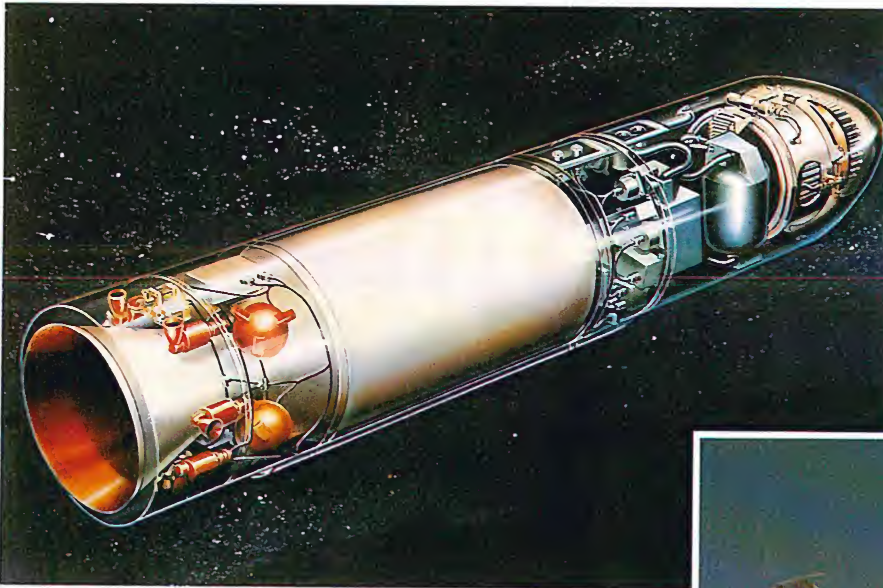
Eine Alternative zu den Jagdsatelliten stellen Raketen dar, die entweder vom Boden oder von Flugzeugen aus gestartet werden. Die GUS-Streitkräfte verfügen über bodengestützte Anti-Satelliten-Raketen. Eine umgebaute An-

Hertz/Liaison/Frank Spooner Pictures

◄ *Eine amerikanische Rakete hebt ab. Diese Raketen können gegnerische Satelliten auf niedrigen Umlaufbahnen zerstören.*







US Department of Defense/USAF

◀ ***Die obere Stufe** einer Anti-Satelliten-Rakete der US Air Force. Die zweistufige Rakete brennt aus, so daß nur der kleine Gefechtskopf ganz vorne übrigbleibt, der das Ziel selbständig rammt und vernichtet.*



▶ ***Die mit einer** ASAT-Rakete beladene F-15 kann nahezu überall zum Einsatz kommen. Dieses Waffensystem läßt sich bei Unterschallgeschwindigkeit im Horizontalflug starten.*

ti-Raketen-Rakete vom Typ ABM-1 „Galosh" könnte auch Satelliten in niedrigen Umlaufbahnen zerstören. Die Amerikaner dagegen haben eine in der Luft gestartete Anti-Satelliten-Rakete entwikkelt. Sie wird von speziell für diese Aufgabe ausgerüsteten Jagdflugzeugen vom Typ F-15 Eagle abgeschossen. Der zweistufige Flugkörper hat eine Länge von 5,40 Meter.

Für den Start der Rakete beschleunigt die F-15 und geht dann in einen beinahe senkrechten Steigflug über, um den Flugkörper abzufeuern. Nach dem Ausbrennen wird die erste Stufe abgeworfen, und die zweite Stufe treibt die Rakete weiter. Ihre Infrarotsensoren suchen die Wärmestrahlung des Zielsatelliten; wenn sie ihn geortet haben, richtet die Elektronik das Zielgerät automatisch auf den Satelliten aus.

In der Endphase des Angriffs trennt sich der Gefechtskopf von der zweiten Stufe und rast allein auf sein Ziel zu; 56 winzige Raketensätze, von denen jeder nur einmal gezündet wird, besorgen die Steuerung. Der nur 33 Zentimeter lange Gefechtskopf enthält keinen Sprengstoff – er zerstört sein Ziel, indem er den Satelliten ganz einfach rammt. Die Geschwindigkeit, mit der er sich in sein Opfer bohrt, entspricht allerdings der Energie, mit der auf der Erde ein 155-mm-Artilleriegeschoß einschlägt!

## Strahlenwaffen

Ein Großteil der Technik, die von den Amerikanern für das ehemalige SDI-Projekt (Strategic Defense Initiative/Krieg der Sterne) entwickelt wurde, war auch zur Bekämpfung von Satelliten geeignet. Das gilt auch für das russische System.

Hochleistungs-Lasergeräte könnten die Sensoren von Satelliten blenden, sie durch Wärme überlasten und damit außer Betrieb setzen oder total zerstören.

Wetter- und Bildaufklärungssatelliten sind gegen Laserangriffe besonders empfindlich, da sie in ziemlich niedrigen Umlaufbahnen kreisen und ihre abwärts gerichteten Kameras ohne weiteres durch Laser geblendet werden können.

Künftige Spionagesatelliten werden ihre „Augen" allerdings vor Laserattakken schützen können: Radarempfänger an Bord des Satelliten erfassen die Mikrowellen des Verfolgungsradars, das den Laserstrahl ins Ziel richten soll, und lösen Schutzmaßnahmen aus: Schutzfilter klappen wie Sonnenbrillen vor die Linsen der Kameras.

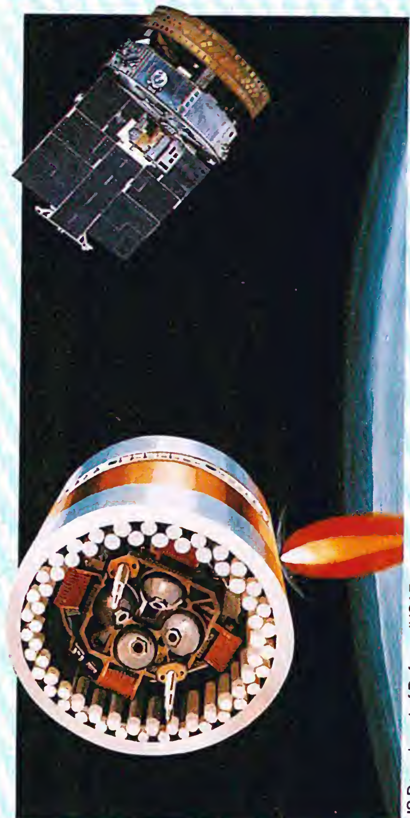
Eine andere Waffe wären Teilchen-Strahlenkanonen, die Protonen gegen die Elektronik von Satelliten einsetzen. Wegen der enorm hohen Energie, die zur Erzeugung dieser Protonenstrahlen erforderlich ist (beim russischen System sollen kleine Kernexplosionen diese Energie liefern), könnten diese Strahlenwaffen nur von der Erde aus eingesetzt werden. Um zu verhindern, daß der Protonenstrahl durch die Moleküle in den Luftschichten der Atmosphäre gestreut und abgeschwächt wird, könnte man die Protonen im Zentrum einer Laserkeule ins Ziel führen: Der Laser würde die Luftmoleküle ionisieren und so eine Art „Tunnelpassage" schaffen, durch die der Protonenstrahl ungehindert sein Ziel erreicht.

### Kaum zu glauben

TEURE RÜSTUNG
JEDES JAHR WERDEN ÜBER 1,5 BILLIONEN MARK (= 1.500.000.000.000 DM) FÜR WAFFEN AUSGEGEBEN – DAS ZWANZIGFACHE DER WELTWEITEN ENTWICKLUNGSHILFE!!!

Paul Raymonde

### MODERNE KRIEGSFÜHRUNG



US Department of Defense/USAF

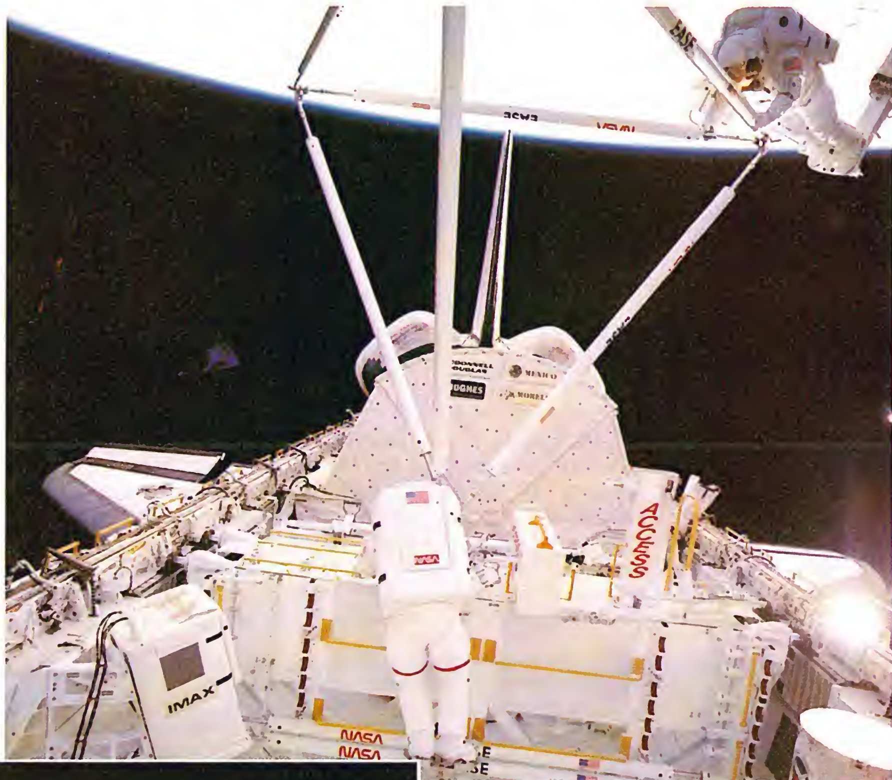
Anstatt Jagdsatelliten in der ersten Phase eines Krieges in den Weltraum zu entsenden, könnte man sie lange vorher in die Nähe ihres Ziels auf eine Umlaufbahn schicken. Diese Weltraumminen erhielten ihr Einsatzkommando zur Vernichtung der feindlichen Satelliten des Gegners durch einen einfachen Funkbefehl.

# BAUEN IM ALL

**SEIT ÜBER DREISSIG JAHREN leben und arbeiten Menschen im erdnahen Raum. Bauarbeiten im All hat es bis jetzt aber kaum gegeben. Das soll bald anders werden. Neue Bautechniken und Konstruktionsmethoden für die lebensfeindliche Umgebung im Orbit sind bereits entwickelt.**

Skylab, die bis heute größte erdumkreisende Raumstation, wurde 1973 als komplette Einheit ins All geschossen (und stürzte sieben Jahre später zur Erde zurück). Sie bestand aus der dritten Stufe einer der gigantischen Saturn-Raketen, mit denen auch die Apollo-Astronauten zum Mond geschossen wurden. Der große Wasserstofftank der Boosterstufe war zum Wohnbereich der Besatzung umgebaut worden. Der ehemalige Sauerstofftank unter dem Crewbereich nahm Fäkalien und Abfälle auf.

Heute steht fest, daß man Astrostrukturen besser erst im Orbit zusammensetzt, statt sie, wie noch Skylab, in einem Stück in den Raum zu schießen. Weil die Bestandteile einer Raumstation in der Umlaufbahn schwerelos sind und kein Gewicht tragen müssen, kann man sie viel größer konstruieren, wenn man sie nicht auf der Erde montiert. Zudem können sie viel filigraner entworfen werden als ähnliche Bauwerke auf der Erde.




NASA

▲ *Hoch über der Erde erproben die Astronauten eines amerikanischen Shuttle Montagetechniken in der Schwerelosigkeit.*



NASA/ESA

◀ *Die Raumstation Freedom (Freiheit) ist ein internationales Projekt, das für Ende dieses Jahrzehnts geplant ist. Es soll sich aus zahlreichen Modulen zusammensetzen, die vor Ort zusammengebaut werden.*

Die Raumstation „Freedom", ein internationales Projekt, das Ende des Jahrzehnts im Orbit entstehen soll, ist größer als Skylab. An sie soll die europäische Raumstation „Columbus" und eine japanische andocken. Die Stationen bestehen aus Bausteinen – Module genannt – die im Orbit zusammengebaut werden. Jedes Modul fliegt in der Ladebucht eines Shuttle zum „Bauplatz" im All. Ein langer Roboterarm hebt dort das Modul aus dem Laderaum und steckt es mit Befestigungselementen, die riesigen Druckknöpfen ähneln, an der Raumstation fest.

## Schweißroboter

Wahrscheinlich werden beim Bau der „Freedom" auch Schweißarbeiten nötig sein. Die ersten Experimente mit Schweißtechniken im Orbit führte bereits im Oktober 1969 der sowjetische Kosmonaut Valery Kubasow durch. Die NASA hat jetzt einen automatischen Trägerschweißer entwickelt, der besonders leichte Träger und Streben aus Gitterwerk herstellen kann. Bänder einer Verbindung aus Kunstharz und Graphit, die mit Aluminium beschichtet sind, werden dabei von Trommeln abgewickelt. Querverbinder schneidet sich der Roboter automatisch zurecht und schweißt sie paßgenau ein. Wenn der so entstandene Träger die gewünschte Länge erreicht hat, wird er abgetrennt; Astronauten befestigen ihn an seinem Platz in der Raumkonstruktion.

Verbindungen aus Graphit und Kunstharz sind als Baustoffe im All sehr gut geeignet, weil sie besonders temperaturstabil sind. Sie verformen sich sogar bei den riesigen Hitze- und Kältesprüngen nicht, die auftreten, wenn die Station





vom sonnenbeschienenen Teil ihres Orbits in den Erdschatten fliegt.

Die einzelnen Bestandteile der Station werden wahrscheinlich von den großen Roboterarmen zusammengesetzt, die jedes Shuttle an Bord hat. Ein Astronaut steuert dabei den „Endeffektor“, die „Hand“ des fünfzig Meter langen Arms.

## Raummechaniker

Für andere Arbeiten muß ein Astronaut das Shuttle auch einmal verlassen, um so dicht wie möglich an seinen Arbeitsplatz zu kommen. Dazu benutzt er ein spezielles EVA-Modul. „EVA“ bedeutet „Extra Vehicular Activity“, zu deutsch „Aktivität außerhalb des Raumschiffes“. Der Astronaut kann auf einer Arbeitsplattform zur Arbeit fahren, die am Arm des Shuttle befestigt ist, entweder im Raumanzug oder sogar in Hemdsärmeln, in einer druckbelüfteten „Hütte“.

Für noch kompliziertere Arbeiten kann der Astromechaniker frei im Orbit schweben. Er benutzt dafür einen düsenbetriebenen Raumrucksack oder ein freifliegendes Arbeitsmodul, eine Art „Miniraumschiff“. Auch hierbei könnten Roboter eine wichtige Rolle spielen. Bereits jetzt arbeitet die NASA an einem freifliegenden Raumroboter, der verlorengegangene Werkzeuge und Teile „einfangen“ und zurückbringen soll.

Die nationale Raumfahrtkommission der USA hat empfohlen, daß Amerika im Jahre 2005 damit beginnt, eine ständige Basis auf dem Mond einzurichten. Sie könnte aus den gleichen Modulen konstruiert werden, die man auch im Orbit einsetzen will. Man würde die Basis in flache Gräben einbauen und sie mit Mondstaub bedecken, um ihre Besatzung vor den extremen Mondtemperaturen und vor der Strahlung zu schützen. Noch viel billiger wäre es allerdings, als Baumaterial das Gestein des Mondes zu nutzen. In einem Laborexperiment hat man schon versucht, mit vierzig Gramm des kostbaren Mondgesteins, das die Apollo-Missionen zur Erde gebracht haben, Beton anzumischen. Es gibt bereits Pläne, auch andere wichtige Rohstoffe aus Mondgestein zu gewinnen. Auf dem Mond produzierter Sauerstoff könnte zum Beispiel die Basis versorgen.

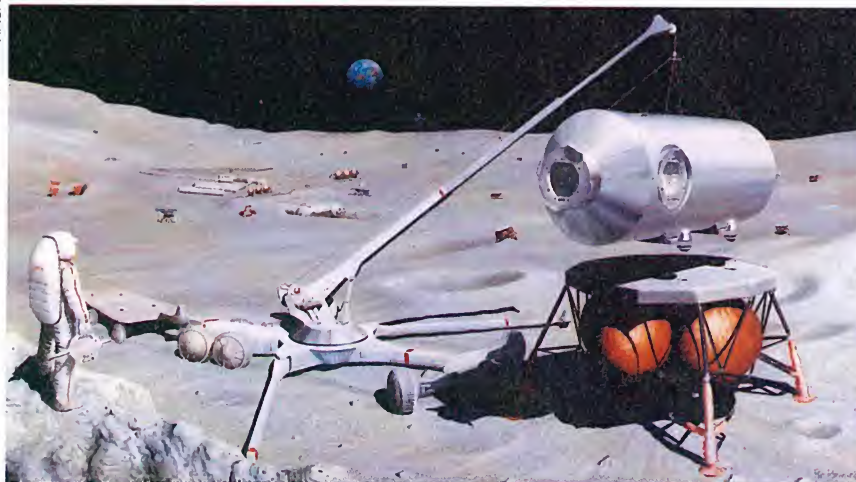
Erste Aufbauarbeiten für eine bemannte Marskolonie könnten im frühen 21. Jahrhundert beginnen. Es wäre viel einfacher, die dafür benötigten Materialien nicht von der Erde, sondern vom Mond zum Mars zu schicken. Zunächst aber ist das noch Zukunftsmusik – erst einmal muß die Mondbasis stehen.

*▼ **Raumfahrtexperten** und Wissenschaftler testen den EVA-Retriever. Er soll Bauteile „einfangen“, die während der Bauarbeiten außer Kontrolle geraten und für immer im Raum zu verschwinden drohen.*



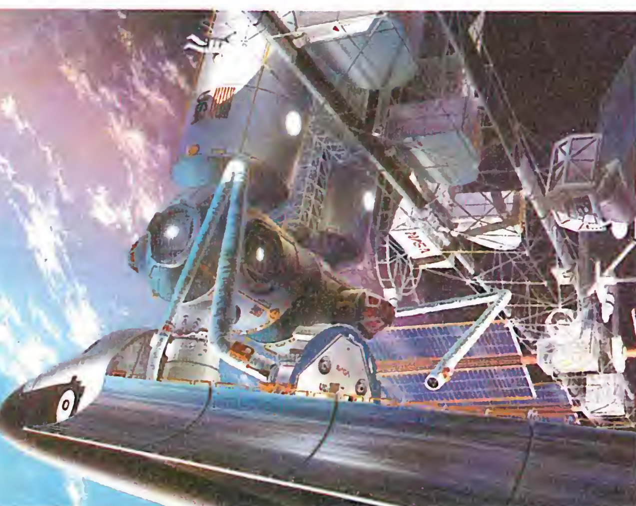

NASA

NASA



*▲ **Beim Bau** der Mondbasis werden Module, die ein Landefahrzeug gebracht hat, mit einem Kran abgeladen und zur Baustelle gebracht.*

NASA



*◀ **Ein Shuttle** dockt an. Roboterarme packen Module und holen sie aus dem Laderaum. Wenn Raumstationen im Orbit die Erde umkreisen, wird dies vielleicht einmal zur Routine.*

**Kaum zu glauben**

KÜNSTLICHE WELTEN
IN FERNER ZUKUNFT WIRD ES RIESIGE, SICH SELBST VERSORGENDE RAUMSTATIONEN GEBEN. DIE MENSCHEN WERDEN DORT IN GEWALTIGEN ROTIERENDEN RINGEN ODER KUGELN LEBEN.



Paul Raymonde

# BILDER AUS DEM ALL

- DAS LICHTFENSTER
- WELTRAUMTELESKOPE
- GEKOPPELTE SPIEGEL

**HOCH ÜBER DEM ERDBALL stellt sich ein gewaltiges Weltraumteleskop auf einen Stern ein. Bei der Analyse der Bilder zeigt sich, daß er einen unsichtbaren Begleiter haben muß, der seine Bahn stört. Könnte es sich dabei um einen Planeten handeln?**

Zahlreiche neue Entdeckungen erwartet man von einer neuen Generation von Weltraumteleskopen. In den nächsten Jahren sollen mehrere dieser Teleskope in die Erdumlaufbahn geschossen werden. Das Hubble-Weltraumteleskop zum Beispiel ist im April 1990 mit dem Space Shuttle in den Orbit geflogen, und der Satellit COBE, der im Infrarot- und Mikrowellenbereich späht, ist bereits 1989 gestartet. Damit beginnt ein neues Zeitalter der Astronomie, in dem wir unser bisheriges Wissen über den Weltraum erheblich erweitern können.

Die Kosten für den Transport eines riesigen Teleskopes in die Umlaufbahn sind immens – warum also installiert man die großen Teleskope nicht auf der Erde? Die Antwort ist einfach: Die Atmosphäre unseres Planeten schluckt einen großen Teil des ankommenden Lichtes; außerdem befindet sich die Luft in ständiger Bewegung, was zu einer verzerrten Darstellung von Objekten im Teleskop führt. Aufnahmen verschwimmen, die Bilder haben keine ausreichende Auflösung.

Ein im Weltraum installiertes Teleskop kann überdies die Röntgen-, ultraviolette, infrarote und auch langwellige Rundfunkstrahlung über 18 m erfassen. Für diese Strahlungen ist die Atmosphäre nur bedingt durchlässig. Sie läßt uns nur durch zwei „Fenster"

Dr. Jean Lorre/SPL

▶ ***Der Spiralnebel M33:*** *Eine mit dem Computer bearbeitete Fotografie der „nur" 2,4 Millionen Lichtjahre von unserer Milchstraße entfernten 14 Milliarden Sonnen.*



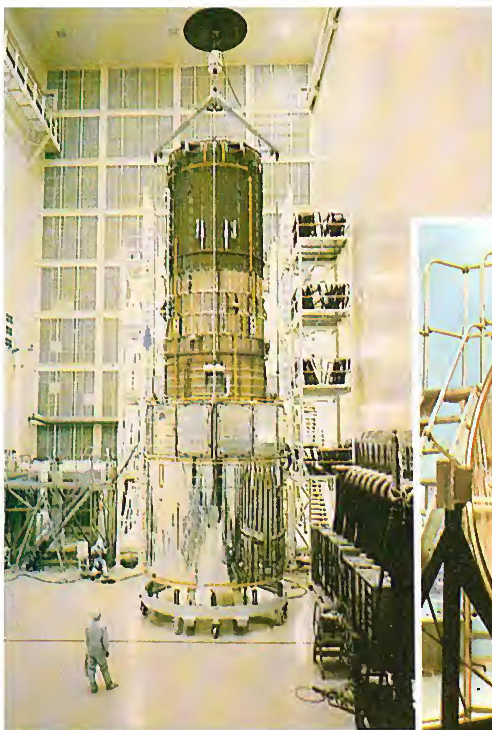
David Parker/SPL



Tony Stone Phone Library, London

▼ ***Radioteleskope*** *können elektronisch gekoppelt werden. In Socorro, New Mexico, sind 27 Teleskope zusammengefaßt. Rechts: Das Radioteleskop in Jodrell Banks (England) vom Fenster des Kontrollraums aus gesehen.*





◀ ***Das Hubble-Teleskop*** *in der Montagehalle. Vom Shuttle ins Orbit gehängt, wird es unser Wissen über das All immens vertiefen.*



▶ ***Der Spiegel*** *des Hubble-Teleskops hat eine spezielle Reflexschicht. Die Techniker müssen Schutzanzüge tragen – die winzigste Schmutzspur kann den Spiegel unbrauchbar machen.*

Lockheed/SPL

NASA/SPL

ins All blicken: Durchs Lichtfenster erreicht uns das sichtbare Licht der Sterne, durchs Radiofenster Strahlung von einem bis 18 mm Wellenlänge.

Vor allem von der Untersuchung der Röntgenquellen ist einiges zu erwarten. Man kennt einige Doppelsterne, die Röntgenstrahlen aussenden. Die Ursache für dieses Phänomen könnte sein, daß Materie des einen Sterns vom anderen regelrecht aufgesogen wird. Die Vermutung liegt nahe, daß es sich bei diesem „Vampir-Stern" um ein „Schwarzes Loch" handelt – so dicht gepackte Materie, daß ihrer Anziehungskraft nicht mal Licht „entkommt."

Der ultraviolette Bereich des elektromagnetischen Spektrums ist für die Astronomen interessant, weil UV-Licht Informationen über die Zusammensetzung des interstellaren Gases, der Materie zwischen den Sternen, liefert. Die Gesamtmasse an Gas und Staub dürfte 100 mal größer sein als die aller Galaxien.

leskope werden auch weiterhin wichtige Aufgaben erfüllen. Sie bündeln die aus dem All kommende Strahlung mit einer tellerförmigen Antenne, von der aus die empfangenen Strahlen auf einen Detektor reflektiert werden. Die hier auftreffenden Signale werden verstärkt, an einen Computer weitergeleitet und dort zu Bildern zusammengesetzt, auf denen sich die Form der beobachteten Objekte und ihre Strahlungsintensität im Vergleich zum Hintergrund erkennen läßt.

Um die Radioteleskope in ihrer Leistung weiter zu steigern, werden neuerdings weit entfernt voneinander aufgestellte Teleskope gekoppelt, wodurch sich eine höhere Auflösung erzielen läßt. Die so geschaffenen Systeme bezeichnet man als „very large arrays" oder Radio-Interferometer. Mit ihnen wurde etwa die Entfernung von Quasaren bestimmt: stattliche 3 bis 18 Milliarden Lichtjahre. Die Empfindlichkeit der Radioteleskope läßt sich durch leistungsfähige Verstärker verbessern.

## Superspiegel

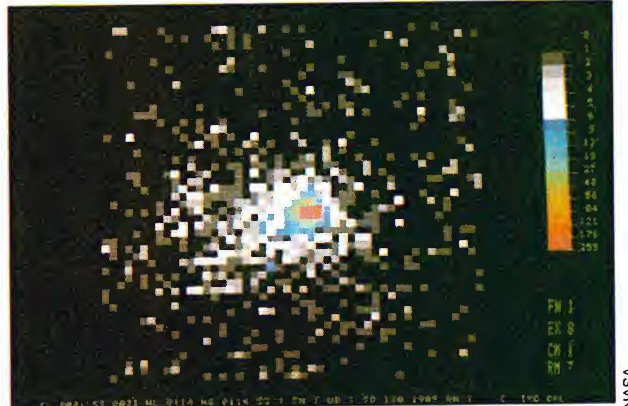
Mit neuen Bau- und Analysetechniken haben Wissenschaftler auch die Leistungen von Spiegelteleskopen gesteigert. Das neue VLT (Very Large Telescope= Sehr großes Teleskop) der Europäischen Südsternwarte (ESO) entsteht nördlich der Sternwarte von La Silla in den chilenischen Anden. Auf dem Cerro Paranal werden vier 8,2-m-Spiegel elektronisch so verkoppelt, daß sie die Leistung eines 16-m-Spiegelteleskops erreichen. Die Anlage soll im Jahr 2000 fertig sein.

Das Teleskop mit dem zur Zeit größten Einzelspiegel der Welt befindet sich in der UdSSR: Der Spiegel des Selintschukskaja Observatoriums im Kaukasus hat einen Durchmesser von 6,1 m



◀ ***Der Nil*** *von einem Beobachtungssatelliten fotografiert. Hochauflösende Kameras mit Teleobjektiven helfen bei Rohstoffsuche und der Wettervorhersage.*

Gamma/Frank Spooner Pictures



▶ ***Ein explodierender Stern:*** *Das digitalisierte, farbcodierte Bild einer Supernova wurde vom Satelliten „International Ultraviolett Explorer" aufgenommen.*

NASA

Auch einige sehr heiße Sonnen leuchten im ultravioletten Bereich sehr hell – Himmelskörper mit einer Oberflächentemperatur von 80 000 bis 100 000° K. Man hält sie für Sterne, die bei einem Nova-Ausbruch etwa 1 Promille ihrer Gesamtmasse verloren haben.

Von Quasaren, den fernsten bekannten Objekten im Weltall, weiß man, daß die Intensität ihrer Radiostrahlung mit zunehmender Wellenlänge wächst. Sie sind daher hervorragende Beobachtungsobjekte für Weltraumteleskope.

Trotz dieser guten Aussichten aus dem Orbit: die erdgebundenen Radioteleskope ...

und übertrifft damit den 5,1-Meter-Spiegel des amerikanischen Mount Palomar-Observatoriums. Dennoch sind die Leistungen des Palomar-Teleskopes etwas besser, weil der Spiegel des Kaukasus-Observatoriums sich durch sein eigenes Gewicht leicht verzieht.

Auch bei den Spiegelteleskopen versucht man, durch neue Technik tiefer ins All zu blicken. Fortschritte in der Glasguß-Technik könnten zu größeren Spiegeln führen und somit dazu beitragen, daß wir mehr über die Gesetzmäßigkeit erfahren, die das Geschehen im Universum bestimmen.

*Im Big Bang,* dem Urknall, entstand das Universum. Man kann aber weder sagen, wo das war, noch was davor war, denn auch Raum und Zeit wurden erst durch den Urknall geschaffen.

# DIE GEBURT DER ZEIT

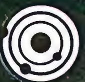
- BIG BANG
- BIG CRASH
- DAS ENDE DER ZEIT

**VOR RUND 15 MILLIARDEN JAHREN entstand in einer unbegreiflichen Explosion unser Universum, entstanden Raum und Zeit. Der Urknall, wie man diese Explosion heute nennt, war die Geburt des Weltalls und damit all dessen, was wir überhaupt kennen.**

Auch wenn neue astronomische Erkenntnisse in der letzten Zeit nicht ganz zu dieser Hypothese passen, gilt der Urknall nach wie vor als wahrscheinlichstes Modell der Entstehung des Universums. Zu viele Fakten sprechen dafür, daß dieser Big Bang tatsächlich stattgefunden hat. Sogar sein Echo kann man heute noch empfangen – man braucht noch nicht einmal die riesige Schüssel eines Radioteleskops dafür: Es genügt, den Fernseher nach Sendeschluß einzuschalten. Das Rauschen und Flimmern, das man dann auf dem Bildschirm sieht, wird von der









Big Bang

Plötzliche Ausdehnung

Subatomare Teilchen

## Geschlossenes Universum

Das Universum bricht unter seinem eigenen Gewicht zusammen

Big Crash

Die ersten Atome

Der heutige Zustand

Materie zerfällt

## Offenes Universum

Das Universum dehnt sich endlos weiter aus.

***Zwei Modelle** für die Zukunft des Weltalls: Wenn es genügend unentdeckte Materie im All gibt, könnte sie die Ausdehnung zum Stehen bringen. Das All würde wieder in sich zusammenfallen. Im „Big Crash“, dem großen Zusammenquetschen, endet die Zeit. Gibt es nicht genug Materie, dann wird sich das All immer weiter ausdehnen.*



Photo CERN

◄ ***„Atomknacker"*** *wie dieser riesige Beschleunigerring im Atomforschungszentrum CERN bei Genf setzen riesige Energiemengen ein, um die Bedingungen nach dem Urknall zu simulieren. Mit großen Magneten beschleunigen Wissenschaftler die Elementarteilchen auf der „Rennbahn" (unten) und lassen sie dann aufeinanderkrachen.*

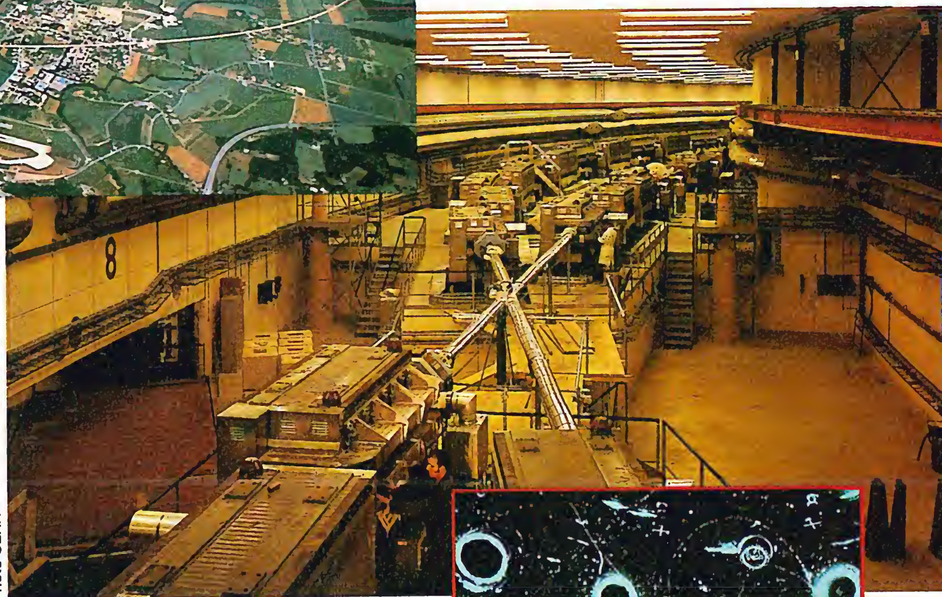



Photo CERN

„kosmischen Hintergrundstrahlung" hervorgerufen, dem bis heute wirksamen Echo des großen Knalls.

Es gibt noch ein weiteres starkes Indiz dafür, daß der Urknall tatsächlich stattgefunden hat: Die fernen Galaxien des Kosmos scheinen sich von uns wegzubewegen, und zwar um so schneller, je weiter sie von uns entfernt sind. Man kann sich diese Bewegung vorstellen wie die von Punkten auf der Hülle eines Ballons, der aufgeblasen wird.

Aus der Tatsache, daß sich die Galaxien voneinander wegbewegen, hat man geschlossen, daß sie früher einmal alle an einem „Platz" waren, eben an dem Punkt, wo der Urknall stattfand. Dieser „Urort", der zum Zeitpunkt des Big Bang ein winziger Punkt im Nichts war, hat sich jetzt zu einem riesigen „Ballon", dem Weltall, ausgedehnt.

Der geniale Physiker Albert Einstein hat Anfang unseres Jahrhunderts gezeigt, daß die Zeit durch die Schwerkraft verlangsamt wird. Zu Anbeginn der Zeit, als sämtliche Materie des Universums in einem einzigen Punkt mit unvorstellbar hoher Schwerkraft zusammengepackt war, muß die Zeit demnach praktisch stillgestanden haben. Diesen Zustand des Universums zu beschreiben, ist mit der bekannten Physik nicht möglich. Erst mit dem Urknall setzt unsere Vorstellung vom Universum überhaupt ein – mit dem Beginn der Zeit.

Eine Radioreportage aus dem Zentrum des Urknalls hätte sich möglicherweise so angehört: „Meine Damen und Herren, ich melde mich live aus dem Zentrum des Urknalls, wo gerade mit ungeheurer Energie das Universum entsteht. Es ist ziemlich heiß hier – etwa eine Milliarde Milliarde Milliarden Grad Celsius – und ziemlich eng, denn in diesem Moment, also $10^{-43}$ Sekunden nach dem Big Bang, ist das ganze Weltall noch kleiner als ein Wasserstoffatom. Das soll sich aber bald ändern: Wir alle warten atemlos auf die erste große Ausdehnung, die jetzt gleich . . . ja, wunderbar, ganz pünktlich bei $10^{-34}$ Sekunden geklappt hat: Das Universum ist tatsächlich gewaltig angewachsen und hat jetzt einen Durchmesser von satten 10 Zentimetern! Und ganz planmäßig sind jetzt auch die mächtigen Wolken der subatomaren Teilchen, der Quarks, entstanden und ausgeschwärmt. Ihnen wird später einmal die wichtige Aufgabe zukommen, die Atome zu bilden. Und auch die Neutrinos schwirren hier herum, jene unheimlichen Teilchen, die später einmal durch die Erde hindurchfliegen werden, als wenn sie Luft wäre.

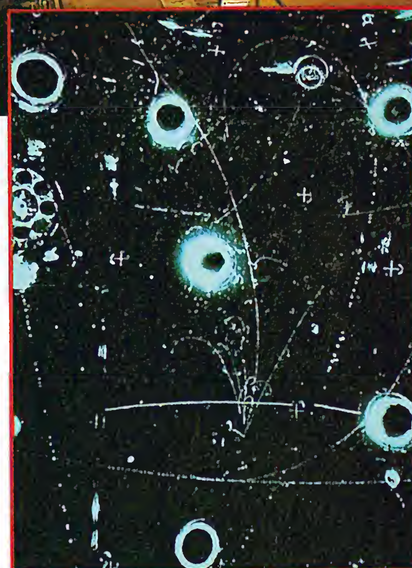


Photo CERN

► ***Bei den Kollisionen*** *zerspringen die Elementarteilchen und hinterlassen in Nebelkammern Spuren. Wissenschaftler suchen sie nach Quarks ab, Teilchen, die schon kurz nach dem Big Bang existierten.*



Spectrum Colour Library

◄ ***Sterne entstehen,*** *wenn große Gaswolken unter ihrer eigenen Schwerkraft zusammenbrechen. Wenn sich das Universum immer weiter ausdehnt, wird das Gas irgendwann zu dünn sein, um weitere Sterne zu bilden.*

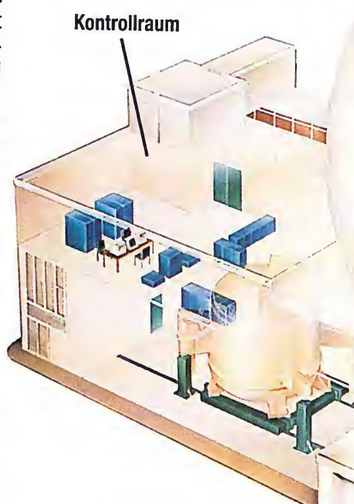
## Die ersten Atome

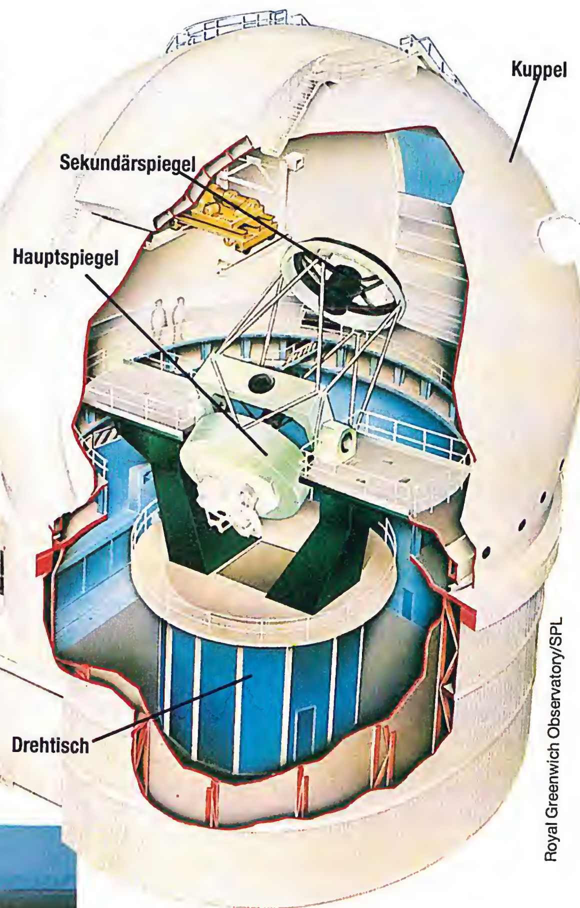
Und da kann ich jetzt erkennen, wie sich aus den Teilchen die ersten Atome bilden. Das Weltall ist jetzt eine Sekunde alt, und ein ganz wichtiger Prozeß hat eingesetzt, denn ohne Atome gibt es keine Sterne, keine Planeten und kein Leben. Es ist auch schon deutlich kühler geworden: wir haben nur noch etwa eine Temperatur von zehn Milliarden Grad Celsius. Überall entstehen jetzt die Atomkerne der leichteren Elemente: Da sehe ich einen Wasserstoffkern, daneben einen Lithiumnukleus und auch Heliumkerne haben sich gebildet. Und während jetzt die Atomkerne sich in immer größeren Mengen bilden, verabschieden

wir uns für eine kurze Pause und melden uns mit unserer Reportage von der Erschaffung des Universums in hunderttausend Jahren wieder."

Während der furchtlose Reporter eine verdiente Pause macht, dehnt sich das Universum weiter und weiter aus. Licht und andere elektromagnetische Strahlungsformen dominieren, und das All wird immer kühler. Nach etwa hunderttausend Jahren greift der Reporter wieder zum Mikrofon: „So meine Damen und Herren, wir melden uns wieder, und ich muß sagen, es ist geradezu empfindlich kühl hier im Weltall geworden: Die Temperatur beträgt nur noch 10000 Grad. Die Elektronen haben sich zu den Atomkernen gesellt, umkreisen sie, bilden Elektronenschalen um die Kerne, mit einem Wort: Wir haben Atome! Und, ganz wichtig: Wenn alle Elektronen um die Kerne kreisen, dann gibt es keine freien Elektronen mehr, die mit der Strahlung interagieren. Das Universum ist plötzlich durchsichtig geworden!

Ich muß allerdings sagen, daß es nicht allzuviel zu sehen gibt, es ist einfach eine sich ausdehnende, dünne, heiße Gaswolke. Immer weiter dehnt sich die Wolke aus, es wird kühler und kühler;




▶ *Mit Spiegelteleskopen messen Wissenschaftler die Rotverschiebung des Lichts ferner Galaxien und bestimmen damit die Ausdehung und das Alter des Universums.*




▼ ***Radioteleskope*** *lauschen bis an die Grenzen des Alls und zurück bis zum Beginn der Zeit.*

langsam wird es hier wieder dunkel, weil sich das heiße Gas abkühlt und nicht mehr so stark strahlt. Und man erkennt, wie einige Teile der Wolke unter ihrer eigenen Schwerkraft zusammenbrechen; jetzt kondensieren sie, werden zu Protogalaxien, den Vorläufern der Milchstraßen. Immer weiter stürzen sie in sich zusammen, immer weiter: In ihrem Inneren starten unter Druck und Hitze atomare Reaktionen, und jetzt kann ich es deutlich sehen: Das Feuer der Fusionsöfen im Inneren der Protosterne glüht – und die ersten Sterne leuchten!"

## Neutronensterne

Auch heute werden noch Sterne geboren. Die größeren von ihnen fallen, wenn sie nach ein paar Milliarden Jahren ausgebrannt sind, in sich zusammen, weil kein innerer Gasdruck ihrer Schwerkraft entgegenwirkt. Neutronensterne entstehen, die nur zehn Kilometer Durchmesser haben, deren Materie aber über zehn Trillionen mal schwerer als Blei ist. Die größten von ihnen könnten sogar zu einer „Singularität" zusammenstürzen, einem Punkt im All, der so schwer ist, daß nicht einmal Lichtstrahlen seiner Schwerkraft entkommen können – ein Schwarzes Loch entsteht.

Bis heute sind sich Wissenschaftler nicht sicher, ob sich das Universum immer weiter ausdehnen wird ober ob es irgendwann wieder in sich zusammenstürzt. Die Materie, die wir im Universum sehen, reicht nicht aus, um mit ihrer Schwerkraft die Expansion zu stoppen. Manche Forscher glauben aber, daß es im All „dunkle Materie" gibt, die wir noch nicht entdeckt haben – möglicherweise Schwarze Löcher. Wenn es diese „dunkle Materie" wirklich gibt, könnte ihre Schwerkraft die Ausdehnung irgendwann zum Stehen bringen. Dann würde das gesamte Weltall wieder auf einen Punkt zusammenfallen: Der „Big Crash", das „große Zusammenquetschen", wäre das Ende des Weltalls und der Zeit. Aufschluß darüber erwarten die Astronomen auch vom Weltraumteleskop „Hubble", das im April 1990 gestartet wurde.

Ob sich das Universum immer weiter ausdehnt oder eines Tages in sich zusammenfallen wird, ist eine Frage, zu deren Beantwortung sicher noch viel Forschung nötig ist. Vielleicht pulsiert das Weltall sogar. Was auch immer richtig sein mag – wir haben noch viel Zeit, es herauszufinden. Die Lebensuhr unseres Sonnensystems ist nämlich erst zur Hälfte abgelaufen.

### Kaum zu glauben

**BLITZSCHNELL**
LICHT LEGT 300 000 KILOMETER IN DER SEKUNDE ZURÜCK – DAS SIND ÜBER EINE MILLIARDE KILOMETER IN DER STUNDE! IN EINER SEKUNDE KÖNNTE EIN LICHTSTRAHL SIEBENMAL DIE ERDE UMKREISEN!





Auf dem Mond würden Pflanzen eine schützende Kuppel brauchen. Ob Landwirtschaft in kleinen abgeschlossenen Systemen möglich ist, versuchen Wissenschaftler in Arizona, USA, herauszufinden (oben).

# WELTRAUM FARMEN

- MONDKOLONIEN
- SONNENKRAFT
- BIOSPHÄREN

**VIELE SCIENCE-FICTION-ROMANE spielen in Städten auf fremden Planeten und in Weltraumkolonien. Aber wird es überhaupt irgendwann möglich sein, in den Weiten des Weltalls zu siedeln? Auch wenn Städte im All heute noch Zukunftsmusik sind: Schon jetzt versuchen Wissenschaftler, diese Frage zu klären.**

Seit es Weltraumstationen wie die sowjetische „Mir" und das US-amerikanische „Spacelab" gibt, ist bekannt, daß es Menschen eine ganze Zeit im All aushalten können. Der Kosmonaut Wladimir Titow verbrachte z. B. ein volles Jahr im Orbit, bevor er auf unseren blauen Planeten zurückkehrte. Wenn man jedoch daran denkt, Reisen zum Mars zu unternehmen, eine ständig bewohnte Mondbasis zu errichten, oder überhaupt Weltraummissionen von längerer Dauer plant, dann ist nicht nur interessant, wie lange sich Menschen außerhalb des Schwerefelds der Erde aufhalten können.

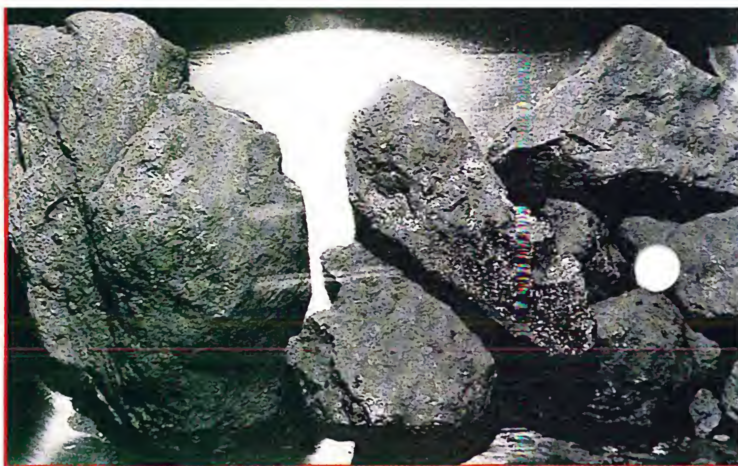
Wenn man bedenkt, daß ein Mensch in der Bundesrepublik Deutschland pro Jahr im Durchschnitt unter anderem etwa 94 kg Frischobst, 90 kg Milch, 77 kg Gemüse, 74 kg Getreide, 72 kg Kartoffeln, 62 kg Schweinefleisch, 35 kg Zucker, 28 kg Fette, 22 kg Rindfleisch, 16 kg Eier und Eierprodukte und 12 kg Fisch „verdrückt", kann man sich leicht vorstellen, daß man für längere Reisen durch den Weltraum einiges an Proviant braucht. Zwar kann man Raumfahrern Vitamine und andere wichtige Spurenelemente in konzentrierter Form verabreichen, doch hilft es nichts: Der Magen des Menschen will „beschäftigt" sein, und so kommt man nicht umhin, die Raketen mit einer Menge Nahrungsmittel zu belasten.





Die bemannten Raumstationen, die heute im Orbit kreisen, sind auf die ständige Zulieferung von Lebensmitteln und Sauerstoff angewiesen, damit es den Astronauten und Kosmonauten nicht an Lebenswichtigem fehlt. Lediglich das Trinkwasser läßt sich mit relativ einfachen Mitteln aus den Ausscheidungen der Raumfahrer rückgewinnen. Eine nicht gerade appetitfördernde Vorstellung, doch sollte man sich nichts vormachen. Auch auf der Erde hat jeder Tropfen Wasser die Verdauungsorgane der Lebewesen bereits mehrfach durchwandert. Würden Menschen und Tiere das getrunkene Wasser nicht wieder ausscheiden, wären die Ozeane längst bis auf den Grund ausgetrunken.

Für die Weltraumfahrt wäre es am allerbesten, wenn die Vorposten im All in jeder Hinsicht auf sich alleingestellt existieren könnten und sogar noch einen Überschuß an Lebensmitteln produzieren würden. Dann könnte man von diesen Stützpunkten aus Expeditionen in noch fernere Gebiete unseres Sonnensystems ausrüsten. Die Energiegewinnung ist dabei noch das geringste Problem, solange man sich nicht allzu weit von der Sonne entfernt. Außerhalb der irdischen Atmosphäre ist die Strahlung so energiereich, daß allein die Sonnenkraft zur Deckung des Energiebedarfs genügen dürfte.



▶ ***Mondgestein** ist irdischem Fels in seiner Zusammensetzung recht ähnlich. Wenn es gelänge, den in Gestein gebundenen Sauerstoff, einen wichtigen Grundstoff für alle höheren Lebensformen, freizusetzen, wären die Wissenschaftler dem Ziel, eine Biosphäre auf dem Trabanten der Erde zu errichten, schon ein gutes Stück näher.*

NASA/SPL

## Völlig unabhängig

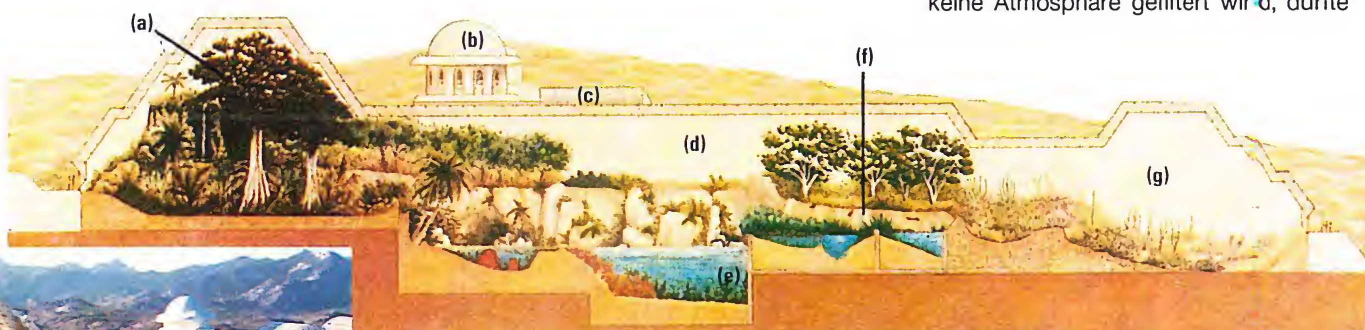
Spannend wird es dagegen, wenn man versucht herauszufinden, was eine künstliche Welt alles beinhalten muß, damit Menschen in ihr ohne Verbindung zur Erde existieren können. Genau diese Frage beschäftigt zur Zeit eine Gruppe von Wissenschaftlern in der Wüste von Arizona, USA. Ihr Projekt heißt „Biosphere II", zu deutsch „Biosphäre II".

Ziel des ehrgeizigen Projektes ist es, eine künstliche Welt zu schaffen, die nicht nur ohne Zutun von außen existiert, sondern auch noch mehrere Menschen ernährt. Es handelt sich um ein riesiges Gewächshaus, das vom tropischen Regenwald über Savanne, Sumpfland bis zur Wüste alle Landschaftsformen enthält. Sogar ein kleiner Ozean ist vorhanden. Es heißt Biosphäre II, Lebensraum II, weil seine Erbauer die Erde völlig zu Recht als Biosphäre I begreifen. Wie in der „echten" Welt sollen unter den Glaskuppeln alle Substanzen, von der Atemluft bis zum Wasser, in Kreisläufe eingebunden sein, so daß sie sich von selbst wieder erneuern. Computer wachen über sämtliche Abläufe. Die Frage ist nur: Sind so kleine Systeme wie Biosphäre II tatsächlich stabil oder brechen sie nach einiger Zeit in sich zusammen? Schließlich ist das Glashaus „nur" zweihunderttausend Kubikmeter groß. Nach einem Jahr waren von den 3800 Pflanzen zwischen 15 und 30% ausgestorben. Viele Feldfrüchte waren von Schädlingen befallen und der Sauerstoffgehalt der Luft abgesunken. Man beschloß, den ersten Versuch vorzeitig abzubrechen.

Wird Biosphere II irgendwann doch erfolgreich sein, wäre man der Lebensmittelproduktion im Weltall ein Stück näher. Erreicht wäre das Ziel aber noch nicht, denn außerhalb der schützenden Erdatmosphäre warten weitere Schwierigkeiten. So bekäme es eine Mondbasis zum Beispiel mit nicht unerheblichen Temperaturschwankungen zu tun. Bei Tage herrschen dort mollige 118° C, während die Nacht mit minus 153° C doch etwas frisch ist. Und auch die Strahlung von der Sonne, die durch keine Atmosphäre gefiltert wird, dürfte Pflanzen ganz schön zu schaffen machen. Eine Glaskuppel müßte hier also umfassender schützen als auf der Erde.

Bei künstlichen Welten im Orbit kommt ein weiteres Problem hinzu. Werden Pflanzen mit der Schwerelosigkeit fertig oder muß man Schwerkraft erzeugen, indem man die Raumstationen um ihre eigene Achse kreisen läßt?

Viele Fragen sind noch offen, und es wird noch Millionenbeträge und etliche Stunden Forschertätigkeit kosten, bis sie alle beantwortet sind.




Space Biosphere Ventures

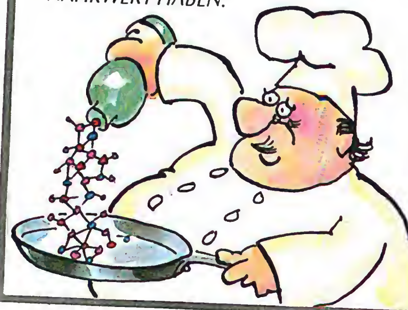
◀ ***Biosphäre II** besteht aus sieben verschiedenen Zonen: tropischer Regenwald (a), ein „Stadtgebiet" (b), in dem die Forscher leben, Äcker und Felder (c), Savanne (d), ein zehn Meter tiefer Mini-Ozean (e), Sumpfland (f) und eine Wüste (g) – jede Landschaft mit ihrer typischen Vegetation und Tierwelt.*

Space Biosphere Ventures

## Kaum zu glauben

**LEICHTE KOST**

IN DER SCHWERELOSIGKEIT DES WELTALLS KÖNNTEN SICH BEI DEN STOFFWECHSELPROZESSEN DER PFLANZEN VÖLLIG ANDERE SUBSTANZEN BILDEN ALS AUF DER ERDE. MÖGLICHERWEISE ENTSTEHEN DABEI STOFFE, DIE KEINEN NÄHRWERT HABEN.



Paul Raymonde

- KOSMISCHE GASE
- PROTOSTERNE
- KERNFUSION

# STERNENGEBURT

*M 42 ist eine wirbelnde, glühende Wolke aus kosmischem Gas und Staub von 100 Lichtjahren Durchmesser. Mitten im Nebel: vier junge Sterne, das „Trapez im Orionnebel".*

NASA/SPL

**EIN PROTON UND EIN ELEKTRON bilden ein Wasserstoffatom. Damit Sterne entstehen können, braucht es nichts weiter als eine riesige Anzahl dieser einfachsten Atome.**

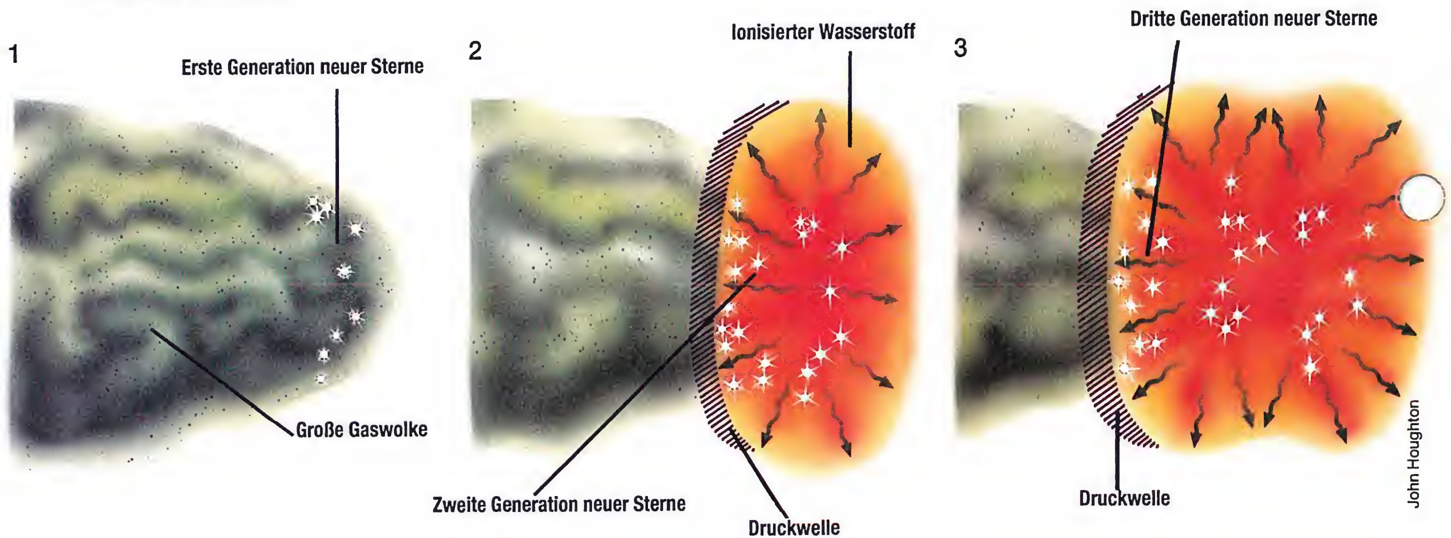
Wenn wir zum Himmel emporblicken, können wir in einer klaren Nacht etwa tausend Lichtpunkte erkennen. Mit einem Fernrohr erhöht sich ihre Anzahl auf ein paar Millionen. Einige wenige dieser Himmelsobjekte leuchten nicht aus sich selbst heraus, es sind die von der Sonne angestrahlten Planeten, Monde und Planetoiden unseres Sonnensystems. Die überwiegende Mehrzahl der funkelnden Lichter sind jedoch Sterne; wie unsere Sonne leuchten sie aus eigener Kraft. Nur weil sie so weit von uns entfernt sind, zeigt sie uns selbst das stärkste Fernrohr lediglich als punktförmige Lichtquellen.

Dennoch sagt uns ihr Licht eine Menge über diese fernen Sonnen. Licht ist elektromagnetische Strahlung, also Energie, die von den Elektronen in den Atomen freigesetzt wird, wenn sie bei chemischen oder physikalischen Prozessen in energetisch niedrigere Zustände zurückfallen. Für den Astronomen ist dabei von Vorteil, daß bei jeder dieser energetischen Zustandsänderungen Strahlung einer für sie typischen Wellenlänge frei wird.

Aus der Spektralanalyse wissen die Sternengucker, daß fast alle Sterne große Gaskugeln aus Wasserstoff und Helium sind; sie leuchten, weil in ihnen ständig Wasserstoff in Helium verwandelt wird. Man nennt diesen Prozeß „Kernfusion". Jeweils zwei Atome Wasserstoff verschmelzen dabei zu einem








▲ ***Massereiche Sterne** entstehen in einer riesigen Gaswolke (1). Nachdem diese in einer Supernova zerplatzen, wird Material frei, das sich unter Druck zu neuen Sternen formiert (2 u.3).*

Atom Helium – in unserer Sonne rund 600 Millionen Tonnen Wasserstoff pro Sekunde! Und rund 4 Millionen Tonnen Masse verpuffen dabei jede Sekunde als Energie.

Wasserstoff ist im Universum reichlich vorhanden. Weil Wasserstoff aus den am einfachsten gebauten Atomen besteht, war es das erste Element, das nach dem Urknall entstand. Von daher ist verständlich, daß sich schon in einem jungen Universum die ersten Sterne und Galaxien bilden konnten. Aber auch heute noch werden neue Sterne geboren.

Wasserstoff findet sich als Hauptbestandteil im interstellaren Gas. Aus zufälligen Verdichtungen des Gases entstehen Zentren, die aufgrund der Massenanziehung immer mehr Gas an sich binden und sich als Stern schließlich so weit verdichten, daß der Fusionsprozeß – Wasserstoff verschmilzt zu Helium – in Gang kommt. Bei Sternen, die so schwer sind wie die Sonne, dauert es 50 000 Jahre, bis die Temperatur, bei der die Kernfusion einsetzt, erreicht ist. Nach weiteren 50 000 Jahren ist der Stern stabil geworden. Das heißt, der nach außen gerichtete Strahlungsdruck, der durch den Fusionsprozeß entsteht, wird durch die nach innen gerichtete Schwerkraft ausgeglichen.

Nach etwa zehn Millionen Jahren ist der Wasserstoff im Kern des Sterns aufgebraucht, der Kern verdichtet sich, und die äußeren Schichten dehnen sich aus. Der Stern wird zum roten Riesen, bis er schließlich in einer Supernova, einer gigantischen Explosion, zerplatzt.. Die Supernova schleudert Druckwellen und Gaswolken ins Weltall hinaus. Aus diesem Gas, das auch schwere Elemente des zerplatzten Sterns enthält, entsteht eine neue Generation von Sternen.

Diese Theorie steht weitgehend mit neueren Beobachtungen im Einklang. Weil junge Sterne von dichtem kosmischem Staub umgeben sind, kann man sie im Bereich des sichtbaren Lichts kaum entdecken. Infrarotempfindliche Satelliten haben uns jedoch Bilder geliefert, auf denen man erkennt: Sterne werden tatsächlich in Gruppen geboren.

## KEIMZELLEN DES LEBENS

**Die Materie zwischen den Sternen, besteht nicht nur aus Wasserstoff. Untersuchungen haben ergeben, daß die Wolken zu 99 % aus Gas und zu 1 % aus Staub bestehen; chemisch dürften sie sich aus 60 % Wasserstoff, 38 % Helium und 2 % schwereren Elementen zusammensetzen. Doch diese 2 % haben es in sich: Bei Beobachtungen im Radiowellenbereich wurden sogar Moleküle nachgewiesen, darunter auch organische Verbindungen wie Formaldehyd, Methylalkohol und Ameisensäure. Kometen könnten auf ihren kosmischen Reisen durchs All dieses Material „aufgesammelt" und es als Keim des Lebens in unser Sonnensystem getragen haben.**



Dr. Fred Espenak/SPL

## Kaum zu glauben

**ENERGIEHUNGRIG**

BEI DER KERNFUSION VON WASSERSTOFF ZU HELIUM WIRD UNGEHEUER VIEL ENERGIE FREI. DIE SONNE ERZEUGT IN EINER SEKUNDE SOVIEL ENERGIE WIE 400 MILLIONEN GROSSE WASSERKRAFTWERKE IN EINEM JAHR.




Paul Raymonde

▼ ***Der Infrarotsatellit IRAS** ermöglicht die Beobachtung junger Sterne, die noch kein sichtbares Licht aussenden.*



Dr. Seth Shostak/SPL

# DER UNSICHERE STERN

- KALTE FLECKEN
- ENERGIESCHWANKUNG
- CHAOTISCHES KLIMA

**WENN AUF EINS VERLASS IST, dann auf unsere Sonne – sollte man zumindest meinen. Schließlich versorgt sie unseren Planeten seit Jahrmillionen mit der nötigen Energie und hält unsere Welt am Leben. Für alle Zeiten?**

Wie nahezu alle Sterne ist unsere Sonne ein gewaltiger Glutofen, auf dem durch die Verschmelzung von Atomkernen riesige Mengen Energie freigesetzt werden. Dieser Prozeß läuft schon über viele Jahrmillionen, und da auf der Sonne noch genug Brennstoff für eine ebenso lange Zeit vorhanden ist, brauchen wir keine Angst zu haben, daß unsere Energiequelle Sonne bald versiegt. Die Grundvoraussetzung, die den Fortbestand des Lebens auf der Erde sichert, scheint nach menschlichen Maßstäben also geradezu ewig Bestand zu haben.

## Kosmisches Feuer

Dennoch. Wenn der kosmische Ofen auch für die absehbare Zukunft nicht erlöschen wird: Völlig sicher können wir uns nicht fühlen. Schließlich ist nicht gesagt, daß das himmlische Feuer gleichmäßig brennt. Im Gegenteil: Wissenschaftler haben herausgefunden, daß die Energieabgabe der Sonne durchaus schwankt. Sichtbares Zeichen dafür sind die Sonnenflecken, die stets gemeinsam mit Sonnenfackeln auftreten.

Mit Hilfe der Satelliten Nimbus-7 und Solar-Maximum-Mission hat man in den letzten zehn Jahren genauere Untersuchungen durchführen können und dabei festgestellt, daß die heißen Fackeln den Energieausstoß stärker erhöhen, als ihn die kalten Flecken abschwächen. Bei einem Sonnenfleckenmaximum ist der Energieausstoß der Sonne, so weiß man inzwischen, größer als bei einem Fleckenminimum.

Nicht nur im Bereich des sichtbaren Lichts schwankt der Energieausstoß der Sonne mit der Fleckenhäufigkeit. Außerhalb der schützenden Atmosphäre unseres Planeten ließ sich mit den Meßinstrumenten der Satelliten auch feststellen, daß sich die Stärke der UV-Strahlung ebenfalls mit der Fleckenzahl verändert. Und auch die Korpuskularstrahlung, die bei Eintritt in die Atmosphäre der Erde Polarlichter aufleuchten läßt, ist rund um ein Fleckenmaximum besonders stark.



University of Alaska

▲ ***Die Sonne** von Skylab aus fotografiert: Gewaltige Gasausbrüche, die weit ins All schießen, geben einen Eindruck von der durchaus nicht gleichmäßigen Aktivität in ihrer superheißen Gashülle.*

NASA

Während inzwischen als sicher gilt, daß die Sonnenaktivität im 11-Jahrerhythmus regelmäßig schwankt, sind zwei wesentliche Fragen nach wie vor offen. Wie kommt es, daß der regelmäßige Anstieg der Sonnenaktivität manchmal – zuletzt zwischen 1645 und 1715, wie man aus alten Aufzeichnungen schließt – nur sehr gering ausfällt? Und welchen Einfluß haben diese Veränderungen auf unser Wettergeschehen?

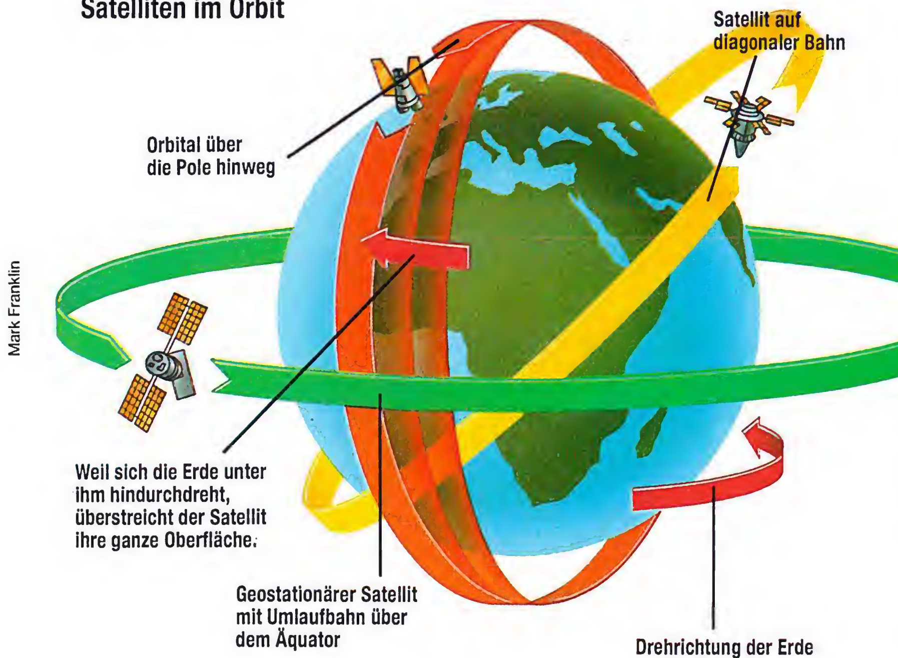
## Kleine Eiszeiten

Für die Klärung der zweiten Frage wäre eine Antwort auf die erste besonders wichtig, denn die bisher gewonnenen Erkenntnisse legen die Vermutung nahe, daß das Ausbleiben starker Fleckenmaxima über mehrere Jahrzehnte hinweg für langanhaltende Kälteperioden verantwortlich sein kann. Um solche massiven Kälteeinbrüche vorhersagen zu können, die das ganze Klima auf unserem Plane-

◀ ***Polarlichter** zeigen starke Sonnentätigkeit an. Historische Aufzeichnungen über diese Phänomene geben daher Aufschluß über die einstige Aktivität der Sonne.*








▲ ***Satelliten*** *können die Erde nicht auf beliebigen Bahnen umkreisen, doch erlaubt es bereits ein Satellit auf einer Bahn über die Pole hinweg, die Auswirkungen der Sonnenstrahlung auf die Atmosphäre lückenlos zu beobachten.*

ten beeinflussen, wäre es selbstverständlich gut zu wissen, ob es außer dem 11-Jahrerhythmus möglicherweise noch einen Rhythmus mit längerer Periode gibt. Hierauf weiß die Wissenschaft aber bislang leider noch keine Antwort.

## Unwägbarkeiten

Aber selbst nach Klärung der ersten Frage würde die zweite weiterhin Probleme bereiten. Zwar weiß man schon recht gut über die Sonnenaktivität der letzten 400 Jahre Bescheid. Man kann auch recht exakt das Wetter vergangener Jahrhunderte rekonstruieren, indem man aus den Wachstumsringen von Bäumen abliest, ob für die Pflanzen günstige oder ungünstige Bedingungen herrschten, und aus Bohrungen im Eis der Pole, wieviel Schnee hier Jahr für Jahr gefallen ist. Dennoch könnte es außerhalb der Möglichkeiten der Wissenschaft liegen, die Zusammenhänge so genau zu klären, daß sich die möglichen Klimaveränderungen der Zukunft rechtzeitig vorhersagen lassen.

Woran liegt das? Am Eifer der Wissenschaftler sicher nicht, denn Vorhersagen über kommende Klimaveränderungen sind momentan äußerst gefragt. Die Stichworte „Ozonloch" und „Treibhauseffekt" sind in aller Munde, und mit ihnen ist die Sorge verknüpft, daß sich das Klima auf der Erde zu unser aller Nachteil verändert.

Trotz des Einsatzes modernster Computer kommen Wissenschaftler bei ihren Prognosen zu ganz unterschiedlichen Ergebnissen. Verantwortlich dafür ist nicht etwa, daß Supercomputer wie die Cray 2 nicht genau genug rechnen. Das Problem ist, daß sich die einzelnen Bedingungen, die unser Wettergeschehen bestimmen, auf komplizierte Art gegenseitig beeinflussen.

Einige Veränderungen sind so miteinander gekoppelt, daß sie sich in ihren Auswirkungen gegenseitig abschwächen, andere verstärken sich. Schmilzt etwa das Eis an den Polkappen aufgrund globaler Erwärmung, so strahlt die Erde weniger Wärme in den Weltraum zurück: Die weißen Flächen, die viel Licht zurückwerfen, schrumpfen, und die Atmosphäre erwärmt sich noch weiter. Kurioserweise kann das Resultat dennoch ein Kälteeinbruch in Nordeuropa sein, weil das abschmelzende Süßwasser das Salzwasser des Atlantiks verdünnt. Die mögliche Folge: Der Golfstrom, der warmes Wasser von Mexiko nach Europa transportiert und unsere Region „wärmt", könnte aufhören zu fließen. Dann würde die Eisdecke in Europa wachsen und es würde wieder mehr Licht ins All hinaus reflektiert. Die Folge: weitere Abkühlung.

## Wechselwirkungen

Systeme, in denen die Folgen wie in diesem Falle auf die Bedingungen zurückwirken, reagieren chaotisch. Damit meint man, daß bereits geringe Abweichungen in den Anfangsbedingungen zu völlig anderen Resultaten führen – und zu solchen leichten Abweichungen könnte z. B. die nur wenig vorhersagbare Sonnenaktivität beitragen.

Es ist also in jedem Fall Skepsis angebracht, wenn man exakte Zahlen darüber liest, wie sehr sich die Erde in den nächsten Jahren erwärmen wird. Die Wissenschaft kann höchstens ungefähre Anhaltspunkte über den Rahmen liefern, in dem sich Veränderungen abspielen, und mögliche Gefahren aufzeigen. Sie kann uns aber kaum mit Sicherheit sagen, daß gefährliche Klimaschwankungen für die nächsten zwanzig Jahre ausgeschlossen sind.

Das aber genau möchten viele Politiker am liebsten von ihr. Zu gerne würden sie Problemlösungen auf die lange Bank schieben, denn die sofortige Reduzierung des $CO_2$-Ausstoßes etwa, der kräftig zum Treibhausklima beiträgt, kostet Geld und macht ausgesprochen unbequeme Entscheidungen nötig.

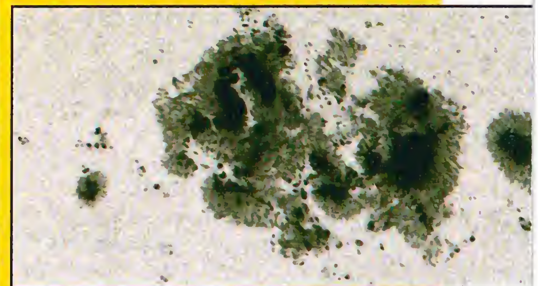
Zu diesen unpopulären Maßnahmen würde etwa gehören, den Personen- und Güterverkehr von der Straße auf die Schiene zu verlagern. Mit den Autofahrern legt sich aber kaum ein Politiker gerne an. Schließlich hat schon der zaghafte Versuch, auf deutschen Autobahnen eine Höchstgeschwindigkeit einzuführen, zu Protesten geführt. In Parolen wie „Freie Fahrt für freie Bürger!" machte sich der Zorn der tempobesessenen Umweltsünder Luft, und schon fürchteten Politiker, Wählerstimmen zu verlieren. Das $CO_2$-verpustende Auto ist und bleibt anscheinend des Deutschen liebstes Kind.

## „Arbeitsklima"

Auch die Automobilindustrie macht mit schnellen Autos ein gutes Geschäft – selbst wenn es die leeren Straßen, über die ihre Produkte flitzen, nur noch in ihrer Werbung gibt. Und ihr Wort hat Gewicht: 430 000 Menschen stehen allein in Deutschland bei ihr in Lohn und Brot.

So steht die Zukunft des Klimas auf Erden im doppelten Sinne in den Sternen. Zum einen, weil wichtige politische Entscheidungen auf sich warten lassen, zum anderen, weil die Veränderungen unseres Sterns Zünglein an der Waage sein können: ob ein Klima auf der Erde herrschen wird, das dem Menschen das Überleben sichert, oder nicht.

### SONNENFLECKEN




Sonnenflecken sind dunkle, also kältere Gebiete in der Sonnengashülle. Weil man mit dem Fernrohr nicht in die Sonne schauen kann, ohne zu erblinden, macht man sie sichtbar, indem man die Sonne durch ein Teleskop projiziert – etwa auf ein Blatt Papier. Die Sonnenflecken werden dann als Schatten sichtbar.
Die Sonnenflecken sind die sichtbaren Anzeichen für wandernde Magnetpole auf der Sonne. Zu dieser Erscheinung kommt es, weil die Sonne am Äquator schneller rotiert, als in den Regionen um die Drehpole und sich die Magnetpole mit den dadurch hervorgerufenen Störungen der Gashülle bewegen.
Durch Beobachtungen seit 1610 weiß man, daß die Sonnenflecken etwa alle 11 Jahre besonders stark auftreten. Im Jahre 1991 hatten wir ein solches Maximum, das vielleicht für die letzten milden Winter „verantwortlich" war.



- BORDMITTEL
- BERGUNG
- BRANDGEFAHR

NASA

▲ *Dieses „Rettungsei" (links ein Entwurf) wurde konstruiert, um die Besatzung einer Raumfähre aus ihrem beschädigten Fahrzeug zu bergen.*

# BERGUNG AUS DEM ALL

**VÖLLIG MANÖVRIERUNFÄHIG rast das Raumschiff um die Erde – lebenswichtige Systeme sind ausgefallen, die Bergung ist unmöglich. Können die eingeschlossenen Astronauten gerettet werden?**

„Okay, Houston, wir hatten hier ein Problem." Mit diesen trockenen Worten meldet sich am Montag, dem 13. April 1970, Jack Swigert, Pilot von Apollo 13, bei seiner Bodenstation. Schnell wird allen Beteiligten klar, daß das Raumschiff in ernsten Schwierigkeiten steckt.

Der Grund für die Aufregung: Um 21.09 Uhr hatte Apollo 13 plötzlich gewackelt, und die Astronauten hatten einen lauten Knall gehört. Ein Sauerstofftank war explodiert. Das unangenehme an dieser Situation: Apollo 13 befindet sich zu diesem Zeitpunkt mit Commander Jim Lovell, Mondfährenpilot Fred Haise und Jack Swigert 330 000 Kilometer von der Erde entfernt auf dem Weg zum Mond. Die Detonation hat eine Seitenverkleidung des Raumschiffes vollständig abgerissen und dabei eine für die Besatzung lebenswichtige Versorgungsleitung durchtrennt.

Die Mondlandung wird augenblicklich abgeblasen. Jetzt geht es nur noch darum, das Leben der Astronauten zu retten. Durch die zerrissene Leitung ist die Versorgung der Kommandokapsel nicht mehr möglich. Die einzige Chance der Crew besteht nun darin, in die Mondfähre „Aquarius" umzusteigen und in ihr mit dem Raumschiff zur Erde zurückzukehren. Unglücklicherweise ist Aquarius nur dafür konstruiert, zwei Menschen für zwei Tage aufzunehmen. Jetzt soll sie plötzlich drei Personen am Leben erhalten – und das während der viertägigen Reise zurück zur Erde.

Luft-, Wasser- und Stromverbrauch müssen also auf das äußerste Minimum reduziert werden. Dies hat zur Folge, daß die Temperatur an Bord allmählich auf wenige Grad über Null sinkt.

Um kostbares Wasser zu sparen, darf jeder Astronaut nur einen halben Li-





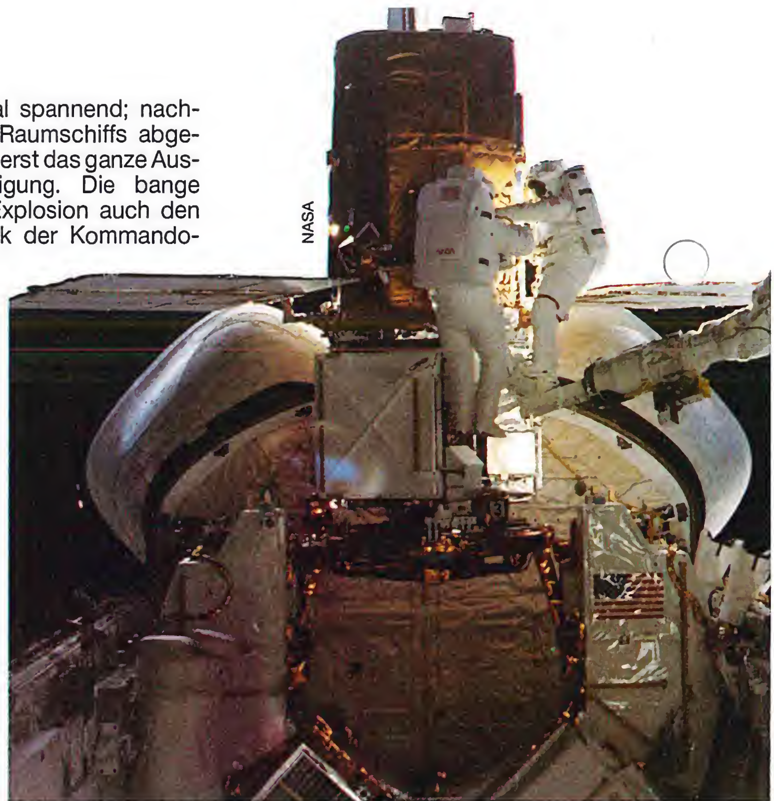
ter pro Tag zu sich nehmen – ein Fünftel des normalen Bedarfs eines Erwachsenen. Auch das trägt nicht gerade zu ihrem allgemeinen Wohlbefinden bei.

Als die Crew nach dieser strapaziösen Reise schließlich in die unwirtliche Kommandokapsel zurückklettert, um mit ihr in die Erdatmosphäre einzutauchen, wird es noch einmal spannend; nachdem der Rest des Raumschiffs abgeworfen ist, sieht man erst das ganze Ausmaß der Beschädigung. Die bange Frage ist: Hat die Explosion auch den Hitzeschild am Heck der Kommandokapsel zerstört? Dann hätten die Astronauten keine Überlebenschance . . .

Glücklicherweise ist der Hitzeschild unbeschädigt. Um die Mittagszeit des 17. April landet Apollo 13 mit drei unterkühlten, völlig erschöpften, aber lebenden Astronauten sicher im Pazifik.

## TÖDLICHER SAUERSTOFF

Der 27. Januar 1967 war für die amerikanische Raumfahrt ein rabenschwarzer Tag. Bei der Überprüfung des ersten Apollo-Raumschiffs vor dem Start brach durch einen elektrischen Funken in der Kommandokapsel ein Feuer aus. Der Brand griff in der reinen Sauerstoff-Atmosphäre in Windeseile um sich. Die Astronauten Gus Grissom, Ed White und Roger Chaffee konnten sich nicht rechtzeitig aus der Kapsel befreien und verbrannten bei lebendigem Leibe. Nach dieser Katastrophe hat die NASA nie wieder Raumschiffe mit reiner Sauerstoffatmosphäre eingesetzt und für ihre Astronauten eine Vielzahl weiterer Verbesserungen im Bereich der Sicherheit eingeführt.



NASA

▶ ***April 1984:*** *George Nelson und James van Haften reparieren den „Solar Maximum Mission Satellite" mit Hilfe des ferngesteuerten „Weltraumarms" des Shuttle – ein riskantes Manöver. Leicht hätte es zu einem Unfall kommen können.*



NASA

▼ ***Ein furchtbarer Anblick*** *bot sich den Rettern, als sie die völlig ausgebrannte Apollo-Kapsel öffneten.*

NASA/Science Photo Library

▲ ***Zu den gefährlichsten*** *Aufgaben eines Astronauten gehört es, das Raumschiff zu verlassen, um Bauteile an der Außenhaut zu warten.*

## Mutterseelenallein

Das Abenteuer von Apollo 13 zeigt eines der Hauptprobleme der Raumfahrt ganz deutlich: Geht im Weltall auch nur das Geringste schief, dann ist die Besatzung auf sich allein gestellt. Es besteht keine Möglichkeit, ein Bergungsschiff zu Hilfe zu schicken, denn man braucht mehrere Wochen, um ein Raumfahrzeug für einen Start vorzubereiten. Bis dahin wären die im luftleeren Raum „gestrandeten" Astronauten längst tot.

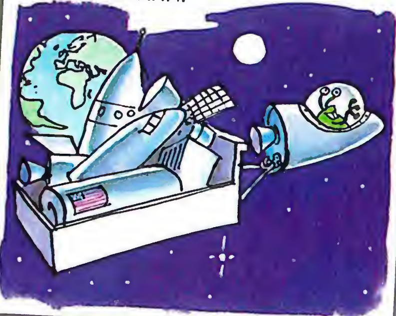
Die Besatzung muß also unter Anleitung der Bodenstation versuchen, die beschädigten Systeme zu reparieren oder sie durch ein Provisorium zu ersetzen. In Apollo 13 drohten die Astronauten zum Beispiel an ihrem eigenen ausgeatmeten Kohlendioxid zu ersticken, weil die Luftfilter der Mondfähre überlastet waren. Als Notbehelf improvisierten sie mit den Luftschläuchen eines Raumanzugs und mit einer Plastiktüte einen provisorischen Kohlendioxid-Filter.

Auch russische Raumfahrer hatten bereits mit Havarien und Ausfällen zu kämpfen. Im Juni 1985 starteten zwei russische Kosmonauten zu einer Sondermission, um die Raumstation Salyut-7 zu reparieren, die durch einen Instrumentenfehler ausgefallen war. Die beiden Spezialisten für Reparaturen im All mußten ihr Raumschiff von Hand andokken – der Stromausfall in der Weltraumstation machte ein automatisches Anlegen unmöglich. Sie luden die leeren Batterien von Salyut-7 auf, brachten das Innere der Raumstation auf normale Temperatur und tauschten die beschädigten elektronischen Geräte aus. Als der „Pannendienst" erfolgreich beendet war, kehrten sie zur Erde zurück.

### Kaum zu glauben

**RAUM-MÜLL**

VOLLGEMÜLLT MIT ÜBER 7000 TEILEN HIGH-TECH-SCHROTT, VON AUSRANGIERTEN SATELLITEN BIS ZU ABGEBRANNTEN RAKETENSTUFEN, WIRD DAS ORBIT IMMER MEHR ZUR GALAKTISCHEN HINDERNISBAHN.



Paul Raymonde

● VULKANE IM ALL ● RIESIGE CANYONS ● MONDE AUS EIS

# ODYSSEE IM WELTRAUM

***Voyager 2*** *erreichte nach einer 12 Jahre währenden Reise durch das Weltall im August 1989 den Planeten Neptun. Zuvor flog die Sonde an Jupiter, Saturn und Uranus vorbei.*

Seth Shostak/Science Photo Library

**DIE GROSSEN ENTDECKUNGEN werden nicht mehr auf der Erde gemacht, sondern im Weltall. Der Mensch hat die Reise zu seinen Nachbarplaneten angetreten, und mit jeder Sonde, die ihm Daten von den fernen Welten auf die Erde funkt, wächst sein Wissen über das Sonnensystem.**

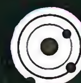
Als im Jahre 1977 die Sonden Voyager 1 und 2 vom Raumfahrtzentrum Cape Caneveral aus auf ihren 5 000 000 000 km langen Erkundungsflug gingen, der sie in zwölf Jahren bis zum Neptun bringen sollte, versprach man sich einiges von dieser Raumfahrtmission. Daß sie die Wissenschaftler jedoch mit einer solchen Unmenge interessantester Daten beglücken würde, aus denen sich noch über Jahre neue Erkenntnisse schöpfen lassen, übertraf selbst die kühnsten Hoffnungen.

Bislang hatte man vor allem Heimatkunde in der näheren Umgebung der Erde betrieben. Die erste Sonde, die einen anderen Planeten erreichte und Daten zur Erde übermittelte, war die amerikanische Mariner 2. Im Dezember

Peter Ryan/Science Photo Library

◄ ***Die Kontrollstation*** *der NASA in Kalifornien überwachte den Flug der Sonden. Die Mission von Voyager 1 war nach dem Vorbeiflug am Saturn beendet.*





1962 flog sie an unserem Nachbarplaneten Venus vorbei. Beeindruckende Fotos konnte sie damals nicht liefern, denn die Oberfläche des Planeten ist ständig unter einer dichten Wolkendecke verborgen, die sich zu 96,5 % aus $CO_2$ und 3,5 % aus Stickstoff zusammensetzt. Sie ist für den Treibhauseffekt auf diesem Himmelskörper verantwortlich: Die Oberflächentemperatur der Venus beträgt bei Tag wie bei Nacht 450 °C.

Die Venus-Atmosphäre zu durchdringen, gelang zuerst der sowjetischen Sonde Venus 3. Allerdings übermittelte sie keine Meßergebnisse. Diesen Erfolg hatten erst Venus 4 bis 8, und Venus 9 und 10 gelang es im Oktober 1975 schließlich, die ersten Fotos von der Venusoberfläche zu senden, einer Wüste aus kantigen Steinen.




NASA/Science Photo Library

◄ ***Die US-Flagge,*** *Tonaufnahmen von Grußworten in 60 Sprachen, Musik, Windgeräuschen und Lauten aus der Tierwelt sowie elektronisch gespeicherte Worte und Photographien gehören zum Gepäck Voyagers – eine Botschaft an mögliche Lebewesen außerhalb unseres Sonnensystems.*

## Höhere Gipfel

Inzwischen wissen wir sehr viel mehr über unseren Schwesterplaneten als noch vor 30 Jahren. So sind etwa 93 % der Venusoberfläche kartografisch erfaßt. Sonden haben sie mit Radar vermessen und Erstaunliches dabei festgestellt. Die Venus, etwa ebenso groß wie die Erde, hat die höheren Berge: Die höchsten Gipfel der Maxwell Montes sind rund 11800 m hoch.

Auch unsere anderen Nachbarn, Mars und Merkur, waren bereits durch Raumfahrtunternehmen gut erforscht, als man sich entschloß, den ferneren Planeten einen Besuch abzustatten. Die Kapseln Mars 2 und 3 der ehemaligen UdSSR und die amerikanischen Sonden Viking 1 und 2 waren 1971 bzw. 1976 auf dem roten Planeten Mars gelandet. Mariner 10 hatte 1974/75 Fotos aus der Umlaufbahn des Merkur gefunkt, die uns das Gesicht des Planeten enthüllten. Es ist wie das unseres Mondes von tiefen Kratern und Rillen zernarbt.

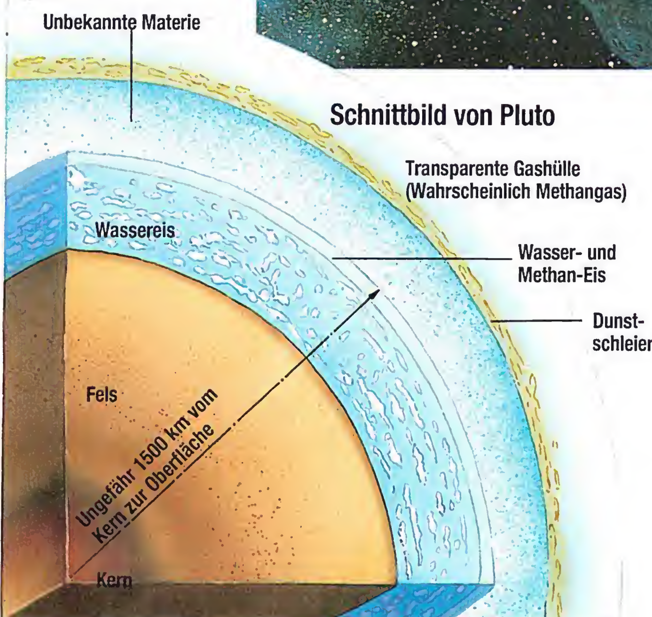
▲ ***Elektronische Kameras*** *an Bord der beiden Voyager-Sonden lieferten Aufnahmen in hoher Auflösung von den äußeren Planeten unseres Sonnensystems und ihren Monden.*

ZEFA



David A. Hardy/Science Photo Library

► ***Pluto,*** *hier ein Gemälde, wurde 1930 als Lichtpunkt auf Fotografien entdeckt. Plutos Mond Charon sichtete man erst 1978. Die Größenangabe des Planeten mußte in den letzten Jahren immer wieder korrigiert werden. Derzeit wird er auf etwa 3000 km Durchmesser geschätzt.*




John Houghton

◄ ***Der einzige Planet*** *unseres Sonnensystems, der noch nicht von einer Raumsonde besucht wurde, ist Pluto. Man geht davon aus, daß Pluto die zweifache Dichte von Wasser hat und verwarf die Annahme, daß Pluto aus festem Methan besteht: Methan-Eis hat eine viel zu geringe Dichte. Heute glauben die Wissenschaftler, daß Pluto ein riesiger Felsen ist.*

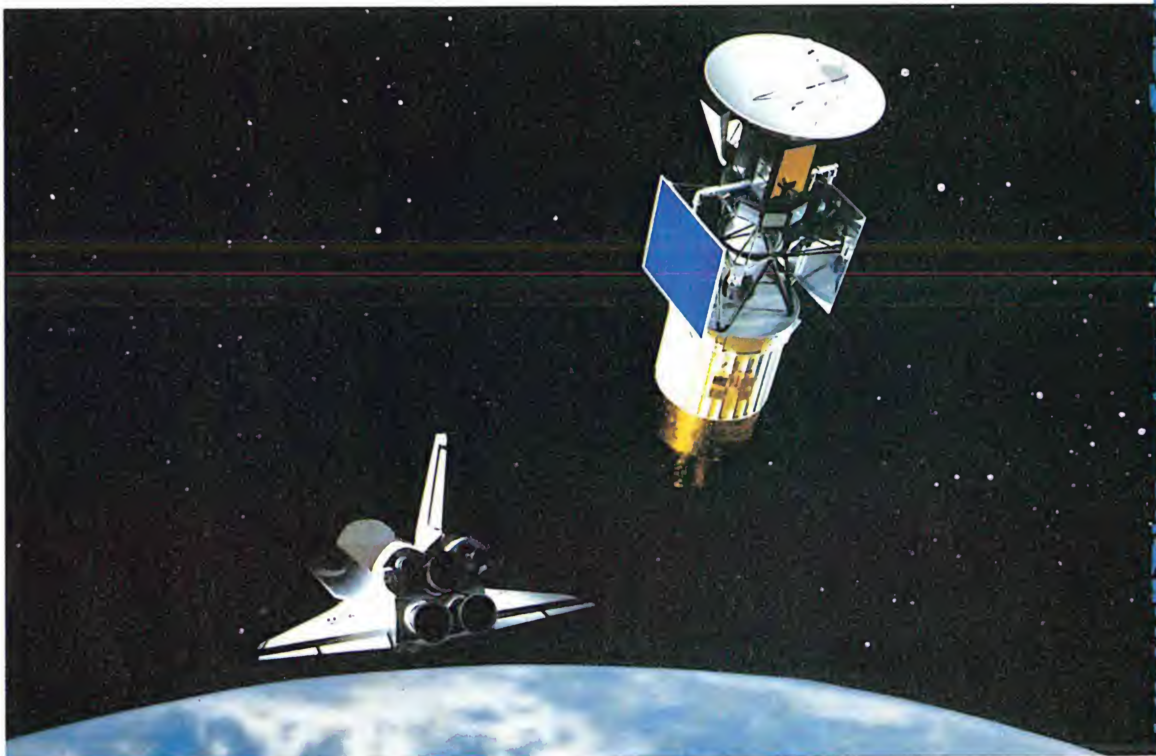
Doch nicht nur die erfolgreichen Besuche bei unseren Nachbarn ermutigten dazu, den etwa viermal so weiten Jupiter, den etwa achtmal so weiten Saturn, den etwa 18mal so weiten Uranus und gar den fast 30mal so weiten Neptun anzusteuern. Viel wesentlicher war, daß diese vier Planeten 1977 in einer ungeheuer günstigen Konstellation standen. Man konnte eine Sonde so ins All schießen, daß sie auf dem Vorbeiflug an einem Planeten genau den Schwung bekommt, den sie braucht, um den nächsten zu erreichen. Lediglich der fernste Planet, Pluto, stand für diese Mission ungünstig. Dennoch hieß es, die Gunst der Stunde nutzen, denn die vier Planeten werden erst nach 175 Jahren wieder eine so günstige Stellung einnehmen.

## Noch mehr Monde

Wie erfolgreich die Voyager-Mission verlief, zeigt sich schon an der Zahl der Monde, die diese Sonden im Vorbeiflug an den drei Riesenplaneten unseres Sonnensystems entdeckten. Zu den bis

▶ ***Die Raumsonde Magellan** wurde im Mai 1989 mit dem Space Shuttle Atlantis in den Weltraum gebracht. Von hier aus trat sie ihre Reise zur Venus an. Im August 1990 begann sie, deren Oberfläche zu vermessen und die mit Spannung erwarteten Daten zur Erde zu senden.*

JPL/NASA



▼ ***Über 9000 Aufnahmen** von der Oberfläche des Planeten Neptun übermittelte Voyager 2 über eine Entfernung von fast 5 Milliarden Kilometer zur Erde. Diese Aufnahmen waren aufschlußreicher als alle Bilder, die man mit den stärksten Teleskopen der Erde erhalten kann.*



JPL/NASA

1974 durch Fernrohrbeobachtungen bekannten 13 Jupitermonden fanden sie drei weitere: Metis, Adrastrea und Thebe, 40, 30 und 80 km im Durchmesser, mit 128 200, 128 400 und 222 400 km durchmessenden Bahnen. Die beiden innersten Monde umkreisen Jupiter so dicht, daß sie möglicherweise mit dem Ringsystem des Planeten in Wechselwirkung stehen.

Um Saturn entdeckte Voyager 1 zu den 13 bekannten vier neue Trabanten: Atlas, Prometheus, Pandora und Epimetheus. Bei Uranus kamen dank Voyager 2 gleich neun hinzu: Cordelia, Ophelia, Bianca, Cressida, Desdemona, Juliet, Portia, Rosalinda und Belinda, so daß die Zahl der bekannten Uranusmonde nun 15 beträgt. Selbst zu Neptuns zwei Begleitern, Triton und Nereide wurden 1989 sechs neue gefunden. Die Trabanten N1 bis N6 haben bislang noch keinen wohlklingenden Namen.

## Einzigartige Ergebnisse

Man kann also getrost sagen, daß bislang noch auf keiner Expedition so viel „Neuland" entdeckt wurde wie auf der Voyager-Mission. Aber auch die bereits bekannten Monde der Planeten wurden uns durch die Fotos und Meßdaten der Voyager-Sonden erst anschaulich. Welten taten sich auf, die zuvor noch kein Mensch gesehen hatte.

Dabei stellte sich heraus, daß die Monde der Planeten von ganz unterschiedlicher Gestalt sind. Auf dem Jupitermond Io, ein etwas größerer Trabant als der Mond unserer Erde, sichtete Voyager 1 im März 1979 Vulkanausbrüche. Die Gasfahnen eines der Vulkane, er erhielt den Namen Loki, schossen 210 km weit in den Himmel.

Ganymed, ein anderer Jupitermond, beeindruckt durch eine im Sonnensystem einzigartige Oberflächenstruktur. Er ist von einem Netzwerk aus etwa 1 km tiefen Gräben zerfurcht. Einige sind Tausende von Kilometern lang. Die Ursache für diese Gräben könnte Magma sein, das von unten gegen eine dünne Kruste drückt. Europa, ein weiterer Jupitermond, scheint von einer rissigen Eiskruste bedeckt zu sein.

Fünf Kilometer steile Klippen auf dem Uranusmond Miranda, ein 2000 km langer Canyon auf Saturns Begleiter Tethys – die Überraschungen nahmen kein

## Kaum zu glauben

**ZIEMLICH SCHWACH**

ALS VOYAGER 2 SICH BEIM NEPTUN BEFAND, WAREN DIE SIGNALE, DIE AUF DER ERDE ANKAMEN, 20 MILLIARDENMAL SCHWÄCHER ALS DIE ENERGIE, DIE ZUM BETREIBEN EINER ARMBANDUHR NÖTIG WÄRE.



Paul Raymonde

## KOMETEN-FORSCHUNG

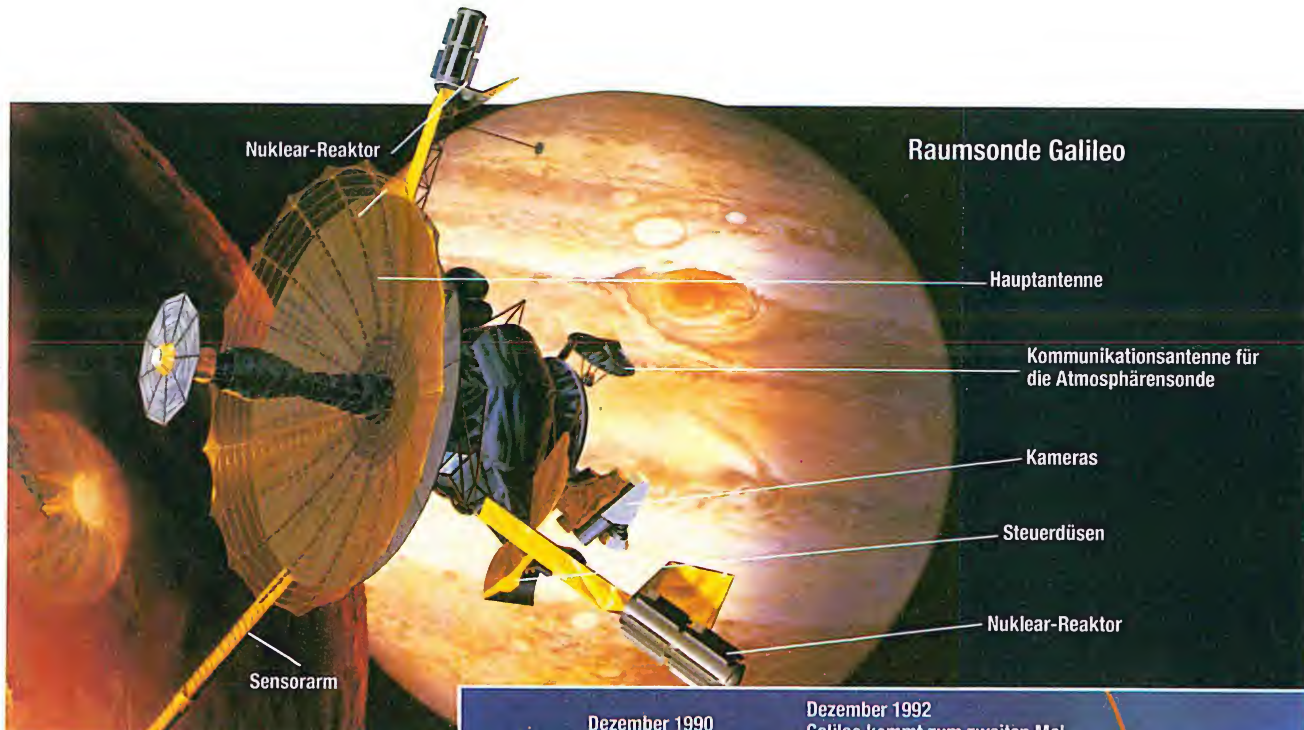


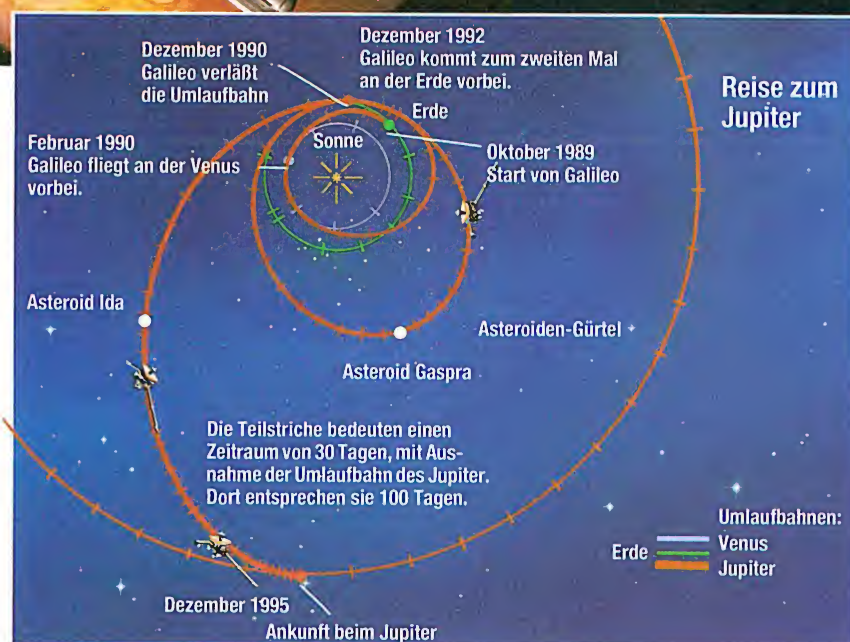
British Aerospace (Space Systems) Ltd

Die Europäische Raumfahrtagentur startete die Sonde Giotto, die im März 1986 ganz dicht am Kopf des Kometen Halley vorbeiflog und den Kernbereich fotografierte. Dieser Bereich besteht aus gefrorenem Staub und Gas und hat einen Durchmesser von etwa 10 Kilometern. Austretender, mit den Gasen vermischter Staub bildet den langen, leuchtenden Schweif. Halley befindet sich auf einer stark elliptischen Umlaufbahn um die Sonne und kommt alle 76 Jahre an der Erde vorbei – das nächste Mal im Jahr 2061.








▲ ***Die Raumsonde Galileo*** *nutzt auf ihrem Flug zum Jupiter die Anziehungskräfte von Venus und Erde (rechts). Zur Energieversorgung hat sie 22 kg Plutonium an Bord, genug um die ganze Erde zu vergiften, wenn bei ihrem Start etwas schiefgegangen wäre. Umweltschützer fordern deshalb, nur noch Satelliten zu starten, die die Sonnenenergie nutzen.*

Ende. Auch die beiden einzigen Monde unseres Sonnensystems, die eine Atmosphäre haben, – Saturns Titan und Neptuns Triton – konnte Voyager genauer erforschen. Die Zusammensetzung der sie umgebenden Gashüllen ist uns heute gut bekannt.

Der große Erfolg der Voyager-Mission besteht aber nicht nur darin, daß wir heute genauere Vorstellungen von den äußeren Planeten und ihren Monden haben. Die bedeutendere Aufgabe folgt erst anschließend: All die unzähligen Einzeldaten – etwa zur Verteilung der Elemente in unserem Sonnensystem – „unter einen Hut zu bringen", das heißt ein genaueres Bild von dem Prozeß zu entwerfen, der unsere Planeten überhaupt erst hervorbrachte.

Doch trotz der bereits gewonnenen Datenflut: Die Erkundung unseres Sonnensystems geht weiter. Im Mai 1989 starteten die USA Magellan, eine Sonde zur Erforschung der Venus. Sie hat den Planeten im August 1990 erreicht und begonnen, mit Hilfe von Radarmessungen aus der Umlaufbahn die Oberfläche des Planeten noch genauer zu kartographieren – in Einzelheiten bis zur Größe von 150 Metern.

## DÜNNHÄUTIGE VENUS?

Magellan, die Raumsonde, die beinahe nicht auf Reisen gehen konnte, weil die Reagan-Administration die Raumfahrtgelder lieber für das Space-Shuttle einsetzen wollte, entpuppt sich mittlerweile als einer der größten Erfolge der NASA. Mit 270 000 Bits pro Sekunde sendet die Sonde sensationelle Daten zur Erde. Ihr Radar durchdringt die dichte Wolkendecke und tastet jeden Quadratkilometer ab. Was dabei bisher zum Vorschein kam, übertrifft die kühnsten Erwartungen der Astronomen. Deutlich konnten sie auf den Funkbildern Vulkane ausmachen, die über große Areale verteilt stehen – anders als auf der Erde, wo man Vulkane vor allem an den Plattengrenzen findet. Mögliche Schlußfolgerung: die Kruste der Venus ist dünner als die der Erde.

## Ungeklärte Fragen

Weiterhin beschäftigt die Wissenschaftler die Frage, warum sich Erde und Venus, obwohl beide Planeten in etwa gleich groß sind, völlig unterschiedlich entwickelt haben. Eine besondere Rolle kommt in diesem Zusammenhang der Atmosphäre der Venus zu. Ihre genaue Erforschung kann durch den detaillierten Vergleich mit der Erdatmosphäre Aufschlüsse darüber geben, unter welchen Gesetzmäßigkeiten sich solche Gashüllen entwickeln. Vielleicht gewinnen wir sogar Erkenntnisse, die die drohende Klimakatastrophe auf der Erde verhindern helfen. Immerhin hat man sich das stolze Ziel gesetzt, Aussagen zur Geschichte der Venusatmosphäre zu treffen, die die letzten vier Millionen Jahre beschreiben.

## Eine Sonde zum Jupiter

Und noch ein Kundschafter ist unterwegs. Im Oktober 1989 wurde die Sonde Galileo zum Jupiter gestartet. Auf ihrem Weg dorthin wird sie die Venus und die als Asteroiden bezeichneten Kleinplaneten erforschen, die auf ihrer Bahn liegen. Besonders wichtig bei der Mission Galileo ist jedoch eine Kleinsonde, die sich an Bord befindet und die in die Atmosphäre des Jupiters eintauchen soll. Eine Stunde hat sie nur Zeit, Daten über die Zusammensetzung der Atmosphäre sowie über die Druck-, Temperatur- und Windverhältnisse zu sammeln, bevor sie auf dem Planeten aufschlägt. Doch die Daten dieser Stunde werden den Wissenschaftlern genügend Stoff für etliche Monate der Auswertung liefern.



# SIND WIR ALLEIN?

*Eine Spiralgalaxie von der Seite gesehen: Schon der Wahrscheinlichkeit nach muß es an mehreren Orten Leben geben.*

David A. Hardy/Science Photo Library



Robin Scagell/Robert Harding Picture Library

**GIBT ES LEBEN IM ALL oder sind wir allein im Universum? Und wenn da noch jemand ist, werden wir ihn je kennenlernen? Eins der größten ungelösten Rätsel der Wissenschaft fasziniert Laien wie Fachleute, Astronomen ebenso wie Philosophen, Anthropologen, Exobiologen und UFO-gläubige Phantasten.**

Bei so viel Theorienstreit, bei so vielen unterschiedlichen Ansichten zu wissenschaftlichen Fragen, die bislang ungeklärt sind: Man muß sich wundern, daß sich in einem alle Wissenschaftler einig zu sein scheinen. Unser Sonnensystem ist nicht das einzige im Universum, das einen bewohnten Planeten hat. Es gibt Leben im All, aber: Es ist fürchterlich weit weg. Der nächste Fixstern, um den ein belebter Planet kreisen könnte, er ist so weit, daß das Licht von ihm zu uns Jahre braucht. Nicht auszudenken, wie lange ein Lebewesen für die Reise zu uns bräuchte. Bleiben wir also doch für immer allein?

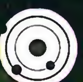
Vielleicht sollten wir Menschen die Sache nicht so anthropozentrisch, also zu sehr vom menschlichen Standpunkt aus betrachten. Wir sagen, daß die Entfernungen zwischen den Sternen nicht zu überwinden sind, weil wir Millionen Jahre für die Reise bräuchten. Aber wer sagt uns denn, daß es nicht irgendwo Lebewesen gibt, die eine Lebenserwartung von hundert Millionen Jahren haben. Für die wäre die Fahrt vielleicht kein größeres Wagnis als für Columbus der Weg nach Amerika.

Exobiologen, die sich mit den möglichen Erscheinungsformen des Lebens im Weltall auseinandersetzen, haben hier Einwände. Eine Lebensdauer von Millionen Jahren halten sie für mehr als unwahrscheinlich. Soviel wir wissen, besteht unser Universum erst seit ein paar Milliarden Jahren. Der Planet dieser Wesen könnte also gerade ein paar Generationen von ihnen hervorgebracht haben. In wenigen Generationen kann aber keine Evolution eine Intelligenz hervorbringen, die in der Lage ist, zu anderen Sonnensystemen zu reisen.

Aber vielleicht ist selbst das schon zu menschlich gedacht. Inwieweit können wir Menschen überhaupt „aus unserer Haut", um Konzepte und Denkmodelle für fremde Lebensformen zu entwikkeln, die auch „wirklich fremd" sind und keine Abwandlungen unserer menschlichen Existenz?

Als der Mensch das Fliegen mit Apparaten erlernte, wuchs auch die Bereitschaft zu glauben, wir könnten Besuch aus dem All bekommen – von We-





## Radiowellen reisen ins All

Entfernung von der Erde in Lichtjahren

Delta Geminorum
Beta Pictoris
Delta Aquilae
Delta Equulei
Gamma Cephi
Alpha Cassiopeiae
Alpha Aurigae
Alpha Bootis
Beta Geminorum
Beta Virginis
30
Zeta Herculis
My Herculis
Xi Bootis
A Ophiuchi
20
Eta Cassiopeiae
Epsilon Eridani
70 Ophiuchi
Tau Ceti
10
Barnards Stern
Alpha Centauri
Proxima Centauri
Erde
Radiowellen

Radar im Zweiten Weltkrieg
Rundfunk über UKW
Fernsehen in der BRD
Farbfernsehen
Hörfunk in Quadrophonie
Satelliten-fernsehen

John Houghton

▲ ***Die Radiowellen*** *der ersten Sendungen unserer Welt haben bereits 70 Lichtjahre im Raum zurückgelegt. Dabei haben sie viele Sterne erreicht, die unserer Sonne ähnlich sind. Wenn diese Sterne, so wie unsere Sonne, von Planeten umkreist werden, könnte es dort intelligente Lebensformen geben, die diese Sendungen entschlüsseln.*

### Kaum zu glauben

**HOLZAUGE SEI WACHSAM**

DIE ANTENNEN MODERNER RADIOTELESKOPE HABEN EINE SO HOHE AUFLÖSUNG, DASS MAN MIT IHNEN ZWEI RADIOQUELLEN UNTERSCHEIDEN KANN, DIE VON DER ERDE AUS GESEHEN SO DICHT NEBENEINANDER LIEGEN WIE DIE BUCHSTABEN IN EINEM BUCH IN 10 KM ENTFERNUNG.



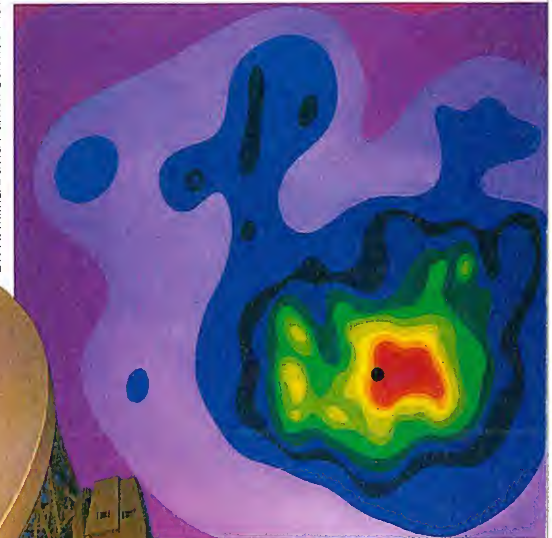

Paul Raymonde

▲ ***Das Lovell-Teleskop*** *in Großbritannien fängt mit seiner riesigen Schüssel Signale aus den tiefsten Tiefen des Weltraums auf. Sie werden gefiltert und verstärkt, bevor sie von Computern der Anlage ausgewertet werden. Impulsfolgen, die sich als Botschaften fremder Intelligenzen entziffern lassen, wurden bisher nicht empfangen.*

Dr. K. Milne/David Parker/Science Picture Library

sen eben, die auch fliegen können. Und die berühmten „grünen Männchen", die immer wieder auftauchen, wenn UFO-Forscher und „Augenzeugen" von Kontakten der „ersten Art" erzählen, sind ein weiteres Beispiel dafür, daß die Phantasie der Menschen recht beschränkt ist. Bis auf die Hautfarbe ist an diesen „fremden Lebewesen" wenig Fremdes. Aber warum sollte sich eine andere Lebensform irgendwo im Weltall genauso entwickelt haben wie der Mensch?

Wenn man es vom Standpunkt der Logik aus betrachtet, so ist der Besuch Außerirdischer bei uns um so unwahrscheinlicher, je ähnlicher sie uns sind. Damit sie die Reise zu uns unternehmen könnten, müßten sie uns so überlegen sein, daß sie sich völlig von uns unterscheiden. Das aber würde bedeuten, daß wir eine andere Lebensform vielleicht gar nicht als solche erkennen würden, weil ihr „Grundkonzept" uns so fremd ist. Wäre es etwa überhaupt möglich, mit Aliens Kontakt aufzunehmen, die submikroskopisch klein sind? Die es körperlich gar nicht gibt, sondern nur als geistige „Substanz" oder Energiefeld?



David Parker/Science Picture Library

▲ ***Impulse*** *aus dem Weltall wurden entdeckt, als ein Stern explodierte und sich seitdem dreizehnmal in der Sekunde um die eigene Achse dreht und dabei regelmäßige Radiowellen aussendet. Die farbigen Flächen zeigen seine Explosionswolke.*

Ist das Universum selbst vielleicht ein gewaltiges intelligentes Wesen?

## Ist Kontakt möglich?

Es ist schon merkwürdig, daß die Helden in Science-fiction-Romanen immer irgendwie in der Lage sind, mit den Fremden Kontakt aufzunehmen? Trotz aller nützlicher Erfindungen der Science-fiction-Autoren – etwa sprachgewandte Übersetzungs-Roboter wie C3PO – was hätten sie mit den Fremden überhaupt zu bereden. Selbst wenn sie „Sprechen" und „Sprache" auf irgendeine Weise kennen – die Inhalte ihrer Sprache werden sich so sehr von den unseren unterscheiden, daß wir sie nie verstehen werden. Sie werden für ganz andere Dinge Namen haben und für ganz andere Eigenschaften von Dingen. Seit Jahrmillionen teilt der Mensch die Erde mit fremden Lebewesen, die ihm sogar recht ähnlich sind, den Tieren. Aber erst jetzt kommt er allmählich darauf, daß die intelligentesten unter ihnen eine Sprache haben. Den Gesang der Wale zu verste-



**◀ Der Scorpio-Ophiuchus-Nebel:** *Aus interstellarer Materie kondensieren in solchen Regionen unserer Milchstraße neue Sterne – und mit ihnen möglicherweise Planeten, auf denen Leben wachsen könnte. Doch bis hier Intelligenz entsteht, ist unsere Sonne längst ausgeglüht.*

Roy… )bservatory, Edinburgh & Anglo-Australian Telescope Board

POLARLICHTER



ZEFA

Leuchtende Himmelsphänomene sind in den nördlichen und südlichen Polarzonen häufig zu beobachten. Winzige, von der Sonne stammende Energiepartikel werden durch magnetische Kräfte an die Erdpole gezogen. Wenn sie in die Erdatmosphäre eindringen, kollidieren sie mit Luftmolekülen. Dadurch entsteht ein Hof strahlenden Lichts. Mit Ufos oder Besuchern von fremden Sternen hat diese Himmelserscheinung nichts zu tun.

hen, davon ist der Mensch jedoch noch weit entfernt. Sollte er es mit außerirdischen Intelligenzen leichter haben?

Kann es überhaupt eine „Sprache" geben, die überall verständlich ist? Wissenschaftler standen bereits einmal vor diesem Problem: als sie versuchten, Voyager eine Botschaft mit auf die Reise zu geben, um möglicherweise mit dieser Raumsonde Kontakt mit fremden Welten aufzunehmen. Man kam schließlich darauf, solche Informationen mit einem möglichst einfachen „Code" darzustellen, den jedes vernunftbegabte Wesen kennen müßte, das den Kosmos mit den wachen Augen der Intelligenz studiert. Grundlagen der Wissenschaften, etwa wie man aus dem Radius eines Kreises seinen Inhalt berechnet oder wie die Atome – sie sind an allen Orten des Universums gleich – aufgebaut sind: Das scheinen Dinge zu sein, die jede Intelligenz des Weltalls wissen müßte. Wirklich jede?

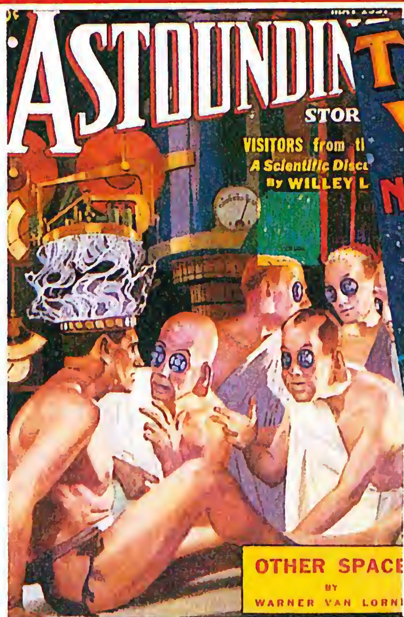
Wenn es doch mit einiger Sicherheit andere Intelligenzformen im All gibt, warum senden sie dann nicht auch solche Botschaften aus. Warum haben wir mit unseren riesigen Radioteleskopen noch nichts aus dem All empfangen, das sich wie eine Botschaft anhört?

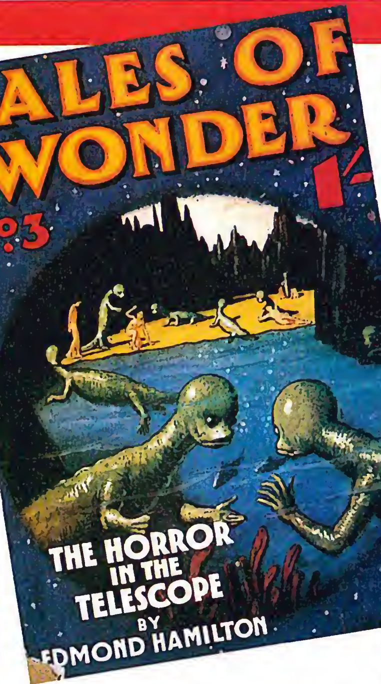
## Schweigen

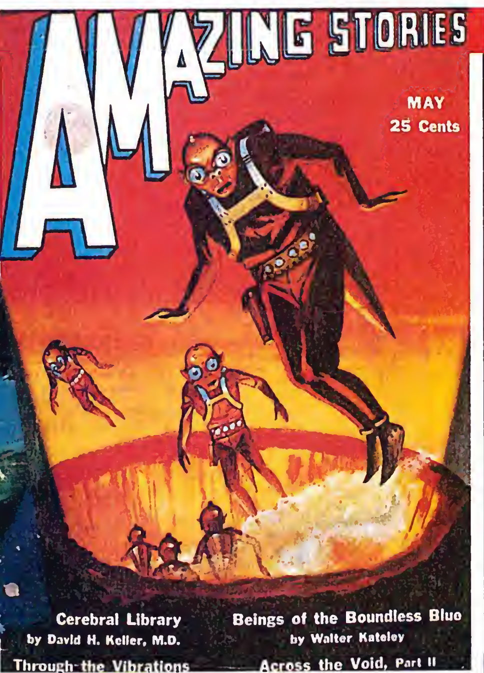
Es mag sein, daß wir Botschaften erhalten, aber sie noch nicht als solche erkennen; es mag auch sein, daß uns nur noch ein bißchen Wissen fehlt, um den Kanal am „Fernsehgerät" einzustellen, auf dem die Außerirdischen senden.

Es könnte aber auch ganz anders sein. Unablässig senden wir Botschaften ins All, die Fernseh- und Radiosendungen, die ungebremst in den Kosmos gehen und Zeugnis vom Leben auf der Erde geben. Wenn irgendeine Superintelligenz zwischen Proxima Centauri und Alpha Aurigae diese Sendungen empfängt und sich die Lage unserer Welt zusammenreimt – Kriege, Hunger in der dritten Welt, Verbrechen –, dann ist es kein Wunder, daß sie beschließt, mit solchen Wesen besser von vornherein keinen Kontakt aufzunehmen.

DIE AUSSERIRDISCHEN




Hannah Mc Roberts/Fortean Picture Library

Nach dem Zweiten Weltkrieg häuften sich in den USA Beobachtungen von „Fliegenden Untertassen". Die Meldungen von merkwürdigen Flugobjekten fremder Wesen beflügelten die Phantasie der Menschen. „Science-Fiction"-Heftchen, die es seit Ende der dreißiger Jahre (oben) am Kiosk gab, fanden reißenden Absatz. Sie brachten die unterschiedlichsten Vorstellungen von den Außerirdischen zum Ausdruck: vom Entsetzen, es könnte zu einer feindlichen Invasion kommen, bis zur reizvollen Vorstellung, daß ein friedlicher Kontakt mit Wesen aus einer fernen Galaxie möglich wäre. Daß die Horrorvisionen dabei meist überwogen, versteht sich fast von selbst, denn die Angst vor dem Fremden verkauft sich bis heute noch besser als eine offene Haltung dem Neuen gegenüber.





**Die meisten Beobachtungen von Unidentifizierten Flugobjekten (Ufos) beruhen auf Fehleinschätzungen. Von allen nachgeprüften Fällen ließen sich 90 % auf natürliche Ursachen zurückführen. Die meisten Beobachter wurden von hellen Sternen und Planeten, Sternschnuppen, Flugzeugen und Satelliten an der Nase herumgeführt. Einige Fälle sind zweifelsfrei bewußte Falschmeldungen. Trotz sorgfältigster Recherchen über alle Ufo-Berichte konnte bis heute kein einziges Ufo wissenschaftlich exakt und zweifelsfrei als Raumschiff fremder Lebewesen identifiziert werden.**



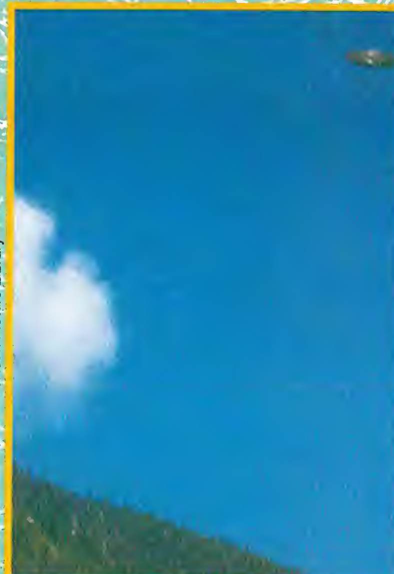
Aetherius Society

◄ ***Über 100 000 Menschen*** *wollen in den letzten 30 Jahren Ufos gesehen haben. Aus allen Ländern der Welt hagelt es Berichte, durchschnittlich 40 pro Tag! Dieses Foto wurde 1978 in England aufgenommen.*

Ella Louise Fortune/Fortean Picture Library

► ***Erst beim Entwickeln*** *dieses Fotos aus dem Jahre 1981, das auf einem Berg in der Nähe der kanadischen Stadt Vancouver aufgenommen wurde, entdeckte man dieses Ufo. Bei der Aufnahme selbst hatte es weder der Fotograf noch seine Begleitung gesichtet.*

◄ ***Dieses Ufo*** *schwebte angeblich 1957 über New Mexico.*



P. C. Hannah Mc Roberts/Fortean Picture Library

▼ ***Die Flugüberwachung*** *von Illinois bestätigte 1987 ein nichtidentifiziertes Objekt. Zugleich wurden Beobachtungen eines zylinderförmigen Flugkörpers (hier eine Rekonstruktion) gemeldet.*



Julian Baum/Science Photo Library



Fortean Picture Library

Stephen Pratt/Fortean Picture Library

► ***Die Spiegelung*** *einer Deckenlampe in einer Scheibe verdeutlicht, wie einfach es ist, ein Ufo-Bild zu produzieren.*



▲ ***Eine Flotte*** *von drei Ufos auf einem Foto aus dem Jahre 1966. Experten bezweifeln die Echtheit der Aufnahme, weil außer den Ufos alle anderen Dinge scharf zu sehen sind.*

► ***Eine linsenförmige Wolke*** *dürfte die Erscheinung auf diesem Bild erklären.*



Robert Harding Picture Library



● MIKROSCHWERKRAFT ● KRISTALLISATION ● SOLARENERGIE



# FABRIKEN IM WELTRAUM

David A. Hardy Science Photo Library

**GROSSE FABRIKEN IM WELTALL sind bisher nur ein Traum in den Köpfen einiger Ingenieure – aber schon im nächsten Jahrhundert könnten sie Realität werden. Auf ihrer Umlaufbahn um die Erde würden sie Materialien herstellen, die auf unserem Planeten nur schwer zu produzieren sind.**

▲ ***Weltraumfabriken*** *könnten in fernerZukunft auch auf dem Mond entstehen. Aus dem Mondgestein ließen sich wertvolle Rohstoffe wie Aluminium gewinnen.*




NASA

▶ ***Die NASA*** *entwickelte hochtechnische Wohnkammern mit eigenen Lebenserhaltungssystemen, die auch sehr gut als Weltraumlabors geeignet sind.*

In der Schwerelosigkeit des Weltraums, so hoffen Ingenieure, ließen sich viele Stoffe wesentlich leichter und in höherer Qualität herstellen, als das auf der Erde möglich ist. Die Anziehungskraft der Erde ist bei der Produktion einiger Substanzen ausgesprochen hinderlich. Ein Raumfahrzeug „schwebt“ in der Umlaufbahn der Erde, weil die Zentrifugalkraft, also die Fliehkraft, die bei der Umkreisung der Erde entsteht, genauso groß ist wie die Erdanziehungskraft und sie „aufhebt“. Diesen Umstand machen sich Wissenschaftler zunutze.

Ein einfaches Beispiel ist das gründliche Mischen von unterschiedlich schweren Stoffen, denn die Anziehungskraft der Erde läßt die schwereren Substanzen zu Boden sinken, so daß eine gründliche Durchmischung im Orbit viel einfacher ist.

Die Entwickler der nächsten Generation ultraleistungsfähiger Computer experimentieren heute ebenfalls mit Schwerelosigkeit. Sie suchen neue Substanzen, die den elektrischen Strom besonders schnell leiten können. Diese Stoffe zu denen Galliumarsenid gehört, müssen als absolut reine und gleichförmige Kristalle gezüchtet werden.

Auf der Erde stört die Schwerkraft diesen Fertigungsprozeß: Die kostbaren Kristalle wachsen mit Unregelmäßigkeiten in der Mikrostruktur. Diese Fehler verhindern, daß die schnellen Leiter in den Computern ihre volle Leistung erbringen. Im Weltraum dagegen, das haben Experimente an Bord des Space Shuttles gezeigt, wachsen die Kristalle größer, reiner und schneller.

## Weltraumproteine

Bei anderen Versuchen, die 1988 an Bord des Shuttle stattfanden, wurden verschiedene Arten von Proteinkristallen gezüchtet. Proteine sind außerordentlich komplizierte Moleküle, die sämtliche Funktionen des Körpers regeln. Neue Erkenntnisse über diese Eiweißmoleküle könnten dazu beitragen, neue Medikamente zu entwickeln.

In den Fabriken im All wäre es auch möglich, Audio- und Videobänder in erheblich besserer Qualität zu produzieren. Hier könnte man die Eisenoxidkristalle, mit denen die Bänder beschichtet werden, aufrecht anstatt flach anordnen und so das Trägermedium wesentlich dichter mit Kristallen besetzen, um die Aufnahme- und Wiedergabequalität erheblich zu verbessern.

Trotz dieser vielversprechenden Aussichten gibt es viele Firmen, die vor Investitionen in der Weltraumproduktion zurückschrecken. Sie befürchten, daß sich die Herstellungsmethoden auf der Erde in der nächsten Zeit so verbessern, daß





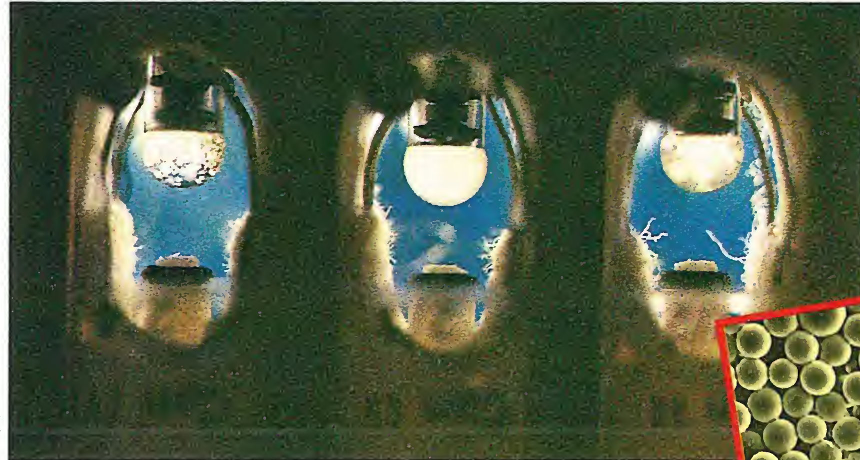
man die teuren Weltraumfabriken gar nicht mehr braucht. Aus genau diesem Grund hat sich zum Beispiel der amerikanische Aerospace-Gigant McDonnell-Douglas aus den Entwicklungsprogrammen im All zurückgezogen.

Andere Konzerne hingegen stecken weiterhin viel Geld in ihre Weltraumprogramme. Zahlreiche Experimente zur Produktion in außerirdischen Sphären werden in Zukunft an Bord der internationalen Weltraumstation „Alpha" durchgeführt. Sie soll um die Jahrtausendwende in den Orbit gebracht werden. Projekte zur Erforschung der Mikroschwerkraft und die Entwicklung von Solarkraftwerken im All, die die Weltraumfabriken mit Energie versorgen, könnten folgen.

Diese ehrgeizigen Pläne sind aber allesamt noch Zukunftsmusik. Es ist ein Unterschied, ob man ein paar Experimente in kleinem Maßstab durchführt, oder ob man eine Fabrik im Weltraum errichten will. Allein der Transport der Rohmaterialien zur Weltraumfabrik und der fertigen Produkte zurück zur Erde würde gewaltige Summen kosten.

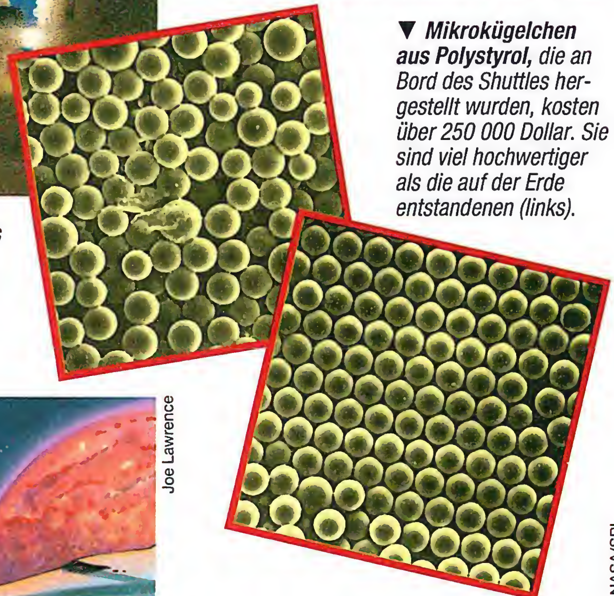
## SPIELZEUG IM WELTRAUM

Als die Raumfähre „Discovery" am 12. April 1985 startete, hatte sie elf verschiedene Spielsachen an Bord: darunter waren Jojos, Kreisel, Murmeln und Spiralfedern. Es sollte ausprobiert werden, wie sie sich unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit verhalten. Ein Kreisel zum Beispiel drehte sich viel länger als auf der Erde, weil er keine Energie durch Wackeln verlor. Magnetische Murmeln ordneten sich zu schwebenden Ketten an, die hin- und herwedelten. Wurden weitere Murmeln hinzugefügt, entstand aus der Kette ein Ring. Ein Jojo funktioniert auch im Weltraum, gesetzt den Fall, man gibt ihm einen Schwung in eine Richtung. Von alleine bewegt sich der Drehkörper am Band nicht zu Boden, da die Schwerkraft fehlt.



NASA

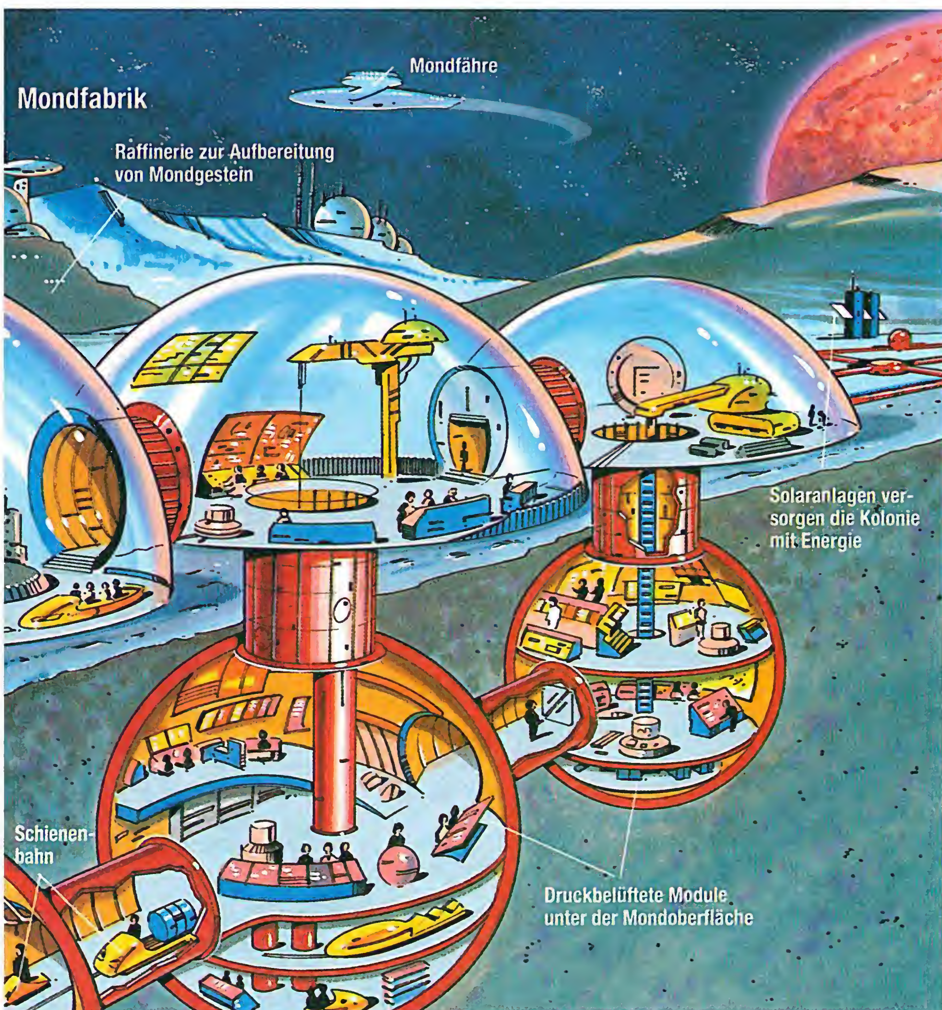
▲ **Proteinkristalle,** *die an Bord des Shuttles gezüchtet wurden, haben keine Störungen im Molekulargitter. Auf der Erde gezüchtete Kristalle weisen dagegen deutliche Unregelmäßigkeiten auf.*



NASA/SPL

▼ ***Mikrokügelchen aus Polystyrol,*** *die an Bord des Shuttles hergestellt wurden, kosten über 250 000 Dollar. Sie sind viel hochwertiger als die auf der Erde entstandenen (links).*

▼ ***Eine Mondbasis*** *aus auf der Erde vorgefertigten Einzelteilen läge größtenteils unter der Mondoberfläche, um ihre Bewohner vor kosmischer Strahlung und starken Temperaturunterschieden zu schützen.*




Joe Lawrence

## Kaum zu glauben

**SO'N MIST**

SHUTTLEASTRONAUTEN KÄMPFEN IM ALL MIT EINEM NEUEN PROBLEM: DER MIST DER AFFEN UND RATTEN IM TIERLABOR VERTEILT SICH IN DER SCHWERELOSEN RAUMFÄHRE!



Paul Raymonde



# WELTRAUMFLUGZEUGE




**Die X-30:** *ein Entwurf aus den USA. Das amerikanische Weltraumflugzeug soll wie ein normaler Jet starten und landen, aber bis in den Weltraum fliegen.*

DOD/Science Photo Library

**EIN WELTRAUMJET HEBT AB. Wie ein feuerspeiender Drache lag er eben noch auf der Rollbahn. Jetzt durchstößt er schon die Wolken, um auf 29 000 Kilometer in der Stunde beschleunigt bis an die Grenzen des Weltalls aufzusteigen.**

Weltraumjets sind heute noch Träume. Ernste Pläne und Überlegungen zu Weltraumflugzeugen, die im Raketentempo von Kontinent zu Kontinent fliegen, gab es zwar schon vor einem halben Jahrhundert. Als aber in den Fünfzigern das große Rennen ins Weltall zwischen Ost und West begann, konzentrierte sich die Forschung zunächst auf den Bau gewaltiger Raketen, die große Nutzlasten wie Satelliten und Raumsonden zuverlässig in die Umlaufbahn bringen konnten. Alle Versuchsprogramme zu Raumflugzeugen wurden gestoppt.

Erst die Space Shuttles der USA und der ehemaligen UdSSR waren wieder ein Schritt zum Weltraumflugzeug: Sie können nach dem Flug im All wie gewöhnliche Jets auf einer Betonpiste landen. Bis heute aber ist es nicht gelungen, ein Flugzeug zu bauen, das wie ein Jet von der Rollbahn abheben kann, um dann ins All zu fegen: Ohne riesige „Booster“ an 60 m hohen Schubraketen, die nach dem Start abgeworfen werden, geht auch bei Shuttles gar nichts. Doch die Erfinder sind eifrig. In ihren Schubladen haben sie bereits die großen Pläne.

## Mit Mach 25 durchs All

Am weitesten ausgereift sind wohl die Entwürfe zum „NASP“, dem „National Aerospace Plane“ (Weltraumflugzeug der USA). Mehrere Flugzeugbauer haben sich Gedanken gemacht und kamen zu ganz ähnlichen Ergebnissen: ein schlankes, keilförmiges Fluggerät von 50 Meter Länge – neun mehr als das Space Shuttle – soll von vier verschiedenen Antriebssystemen auf fünfundzwanzigfache Schallgeschwindigkeit (Mach 25) gebracht werden.

Start und Beschleunigung bis Mach 2 – das sind 2250 km/h – erledigen Turbojet-Turbinen. Sie ähneln solchen, die heute große Passagierflugzeuge antreiben. Schaufelräder an ihrer Vorderseite wirbeln die Luft in eine Brennkammer. Im Inneren der Brennkammer wird die Luft komprimiert und mit Wasserstoffgas gemischt. Das Gemisch wird entzündet,





das heiße Gas dehnt sich aus, erzeugt den Vorwärtsschub und treibt in der Turbine noch ein zweites Schaufelrad an, das mit dem vorderen verbunden ist.

Oberhalb von Mach 2 kommt der Turbine die Luft so schnell entgegen, daß die Turbinenräder eher hinderlich sind. Die Luft wird in der Brennkammer allein schon durch die Geschwindigkeit des Jets komprimiert. Staustrahltriebwerke ohne Turbinen könnten nun das Space Plane viel effektiver beschleunigen. Sie sind daher als zweiter Antrieb für den Weltraumjet vorgesehen.

## Auf Hochtouren

Auch wenn die Luft jetzt in größeren Höhen schon dünn wird: man rechnet damit, daß die komprimierte Luft noch bis knapp unterhalb der Grenze des Weltalls genügend Sauerstoff für solche Strahltriebwerke enthält. Bei einer Geschwindigkeit zwischen Mach 6 und Mach 8 (also zwischen 6750 und 9000 km/h) treten jedoch andere Probleme auf. Die Sauerstoffmoleküle brechen bei so hohen Geschwindigkeiten auseinander und verbrauchen dabei Energie, die an sich das Flugzeug antreiben soll.


NASA

▲ ***Nur in Computersimulationen*** *wurden bisher die Flugeigenschaften von Spacejets getestet. Die Flügelkonstruktionen werden besonders aufwendig sein müssen, damit sie sowohl dem gewaltigen Luftdruck beim Start als auch den hohen Temperaturen bei der Landung standhalten.*


Philippe Plailly/Science Photo

▲ ***Ein Hermes-Modell*** *auf der Spitze eines Ariane-V-Boosters wird im Windkanal getestet. Magnesiumstaub und blaues Licht spüren die dabei entstehenden Turbulenzen auf und geben Hinweise auf Verbesserungen.*

Also starten nun Triebwerke, die selbst bei höchsten Geschwindigkeiten funktionieren. Ihre Erfinder meinen, theoretisch müßte es möglich sein, die Luft so geschickt in die Brennkammer zu leiten, daß ihre Moleküle nicht auseinanderfallen. Mit diesen – bislang unerprobten – Triebwerken soll der Vogel eine Geschwingkeit von Mach 20 erreichen.

Erst ganz oben, wo es keine Luft mehr gibt, müssen mit flüssigem Wasserstoff und Sauerstoff betriebene Raketen den Flieger auf Mach 25 bringen und in die Umlaufbahn „schieben".

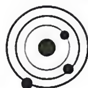
Herkömmliche Raumfahrzeuge werden beim Wiedereintritt in die Atmosphäre durch Hitzeschilde, oder, im Fall des Shuttle, durch tausende von hitzefesten Keramikfliesen vor der Reibungshitze geschützt. DAS NASP aber braucht einen wirksameren Hitzeschutz, weil es für viel längere Zeit der atmosphärischen Reibung ausgesetzt ist: Es soll mit einem sehr flachen Steigungswinkel von 15 bis 20 Grad in den Weltraum emporsteigen, so daß es Hunderte von Kilometern durch die Atmosphäre fliegen wird – und das bei einem Tempo von Mach 20!

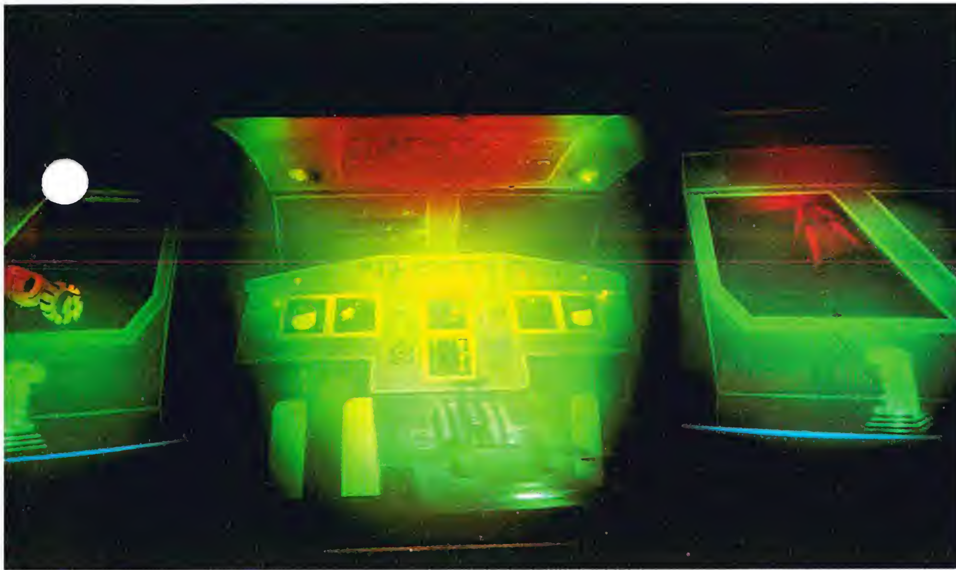
Um das Flugzeug während dieser „heißen Phase" vor dem Verglühen zu schützen, scheint eine Methode besonders clever. Unter der Außenhaut des Space

### LUFT IM COMPUTER

Heute können sich die Konstrukteure von Flugzeugen mit dem Computer zahlreiche aufwendige und zeitraubende Windkanalversuche ersparen. Dem Computer macht es keine Mühe, den Luftstrom über ein Flügelprofil bei verschiedenen Anstellwinkeln zu berechnen und darzustellen (unten). Noch wichtiger sind Computersimulationen für Weltraumjets jedoch, wenn man Aufschlüsse über Flugeigenschaften in sehr großen Höhen gewinnen will. Dank ausgeklügelter Computerprogramme kann man schon günstige Formen für Space Planes entwickeln, bevor man überhaupt in der Lage ist, die geeigneten Turbinen für den Flug hinaus aus der Atmosphäre und ins Weltall zu bauen.


NASA





DOD/Science Photo Library

◄ ***Dieses Hologramm** zeigt das Cockpit des Hermes-Gleiters in allen Einzelheiten. Links erkennt man einen Satelliten; im rechten Cockpitfenster ist die Landebahn zu sehen, zu der das Shuttle nach beendeter Mission zurückfliegen wird.*

noch die Entwicklung des NASP. Zum einen können aufgrund der seltenen Shuttle-Starts auch kaum die nötigen Erfahrungen gesammelt werden, die zur Erprobung einzelner Komponenten des NASP nötig wären.

Zum anderen stockt mit dem Shuttle-Programm das NASP auch deshalb, weil es einst das Shuttle ablösen soll. Je geringer das Interesse am Space-Shuttle, desto weniger Gelder gibt es auch für das NASP. Allein aus Mitteln für die private Luftfahrt ist dieses kostspielige Projekt jedoch nicht fertigzustellen.

Plane könnten unzählige Röhren verlaufen, von denen jede nur ein Tausendstelmillimeter dick ist. In diesen Kapillaren soll der flüssige Wasserstoff, er wird in den Tanks des Flugzeuges bei minus 253 Grad Celsius gelagert, zu den Triebwerken geleitet werden. Ein Wärmetausch findet statt. Die Hitze auf der Außenhaut heizt den Treibstoff gewaltig auf, doch das ist nur gut. Je heißer er ist, desto besser verbrennt er und desto höher ist die Leistung.

Probleme mit undichten Treibstoffleitungen waren es auch, die zum Challenger-Unglück führten und damit den ganzen Terminplan des Space-Shuttle-Projekts erheblich verzögerten. Unter diesen Verzögerungen litt und leidet

## Wiederverwendbare „Sänger“

Vielleicht könnte in ein paar Jahren eine verstärkte Konkurrenz zwischen den USA und einem bis dahin wirtschaftlich noch weiter geeinten Europa die Weltraumjetprojekte wieder stärker in Gang



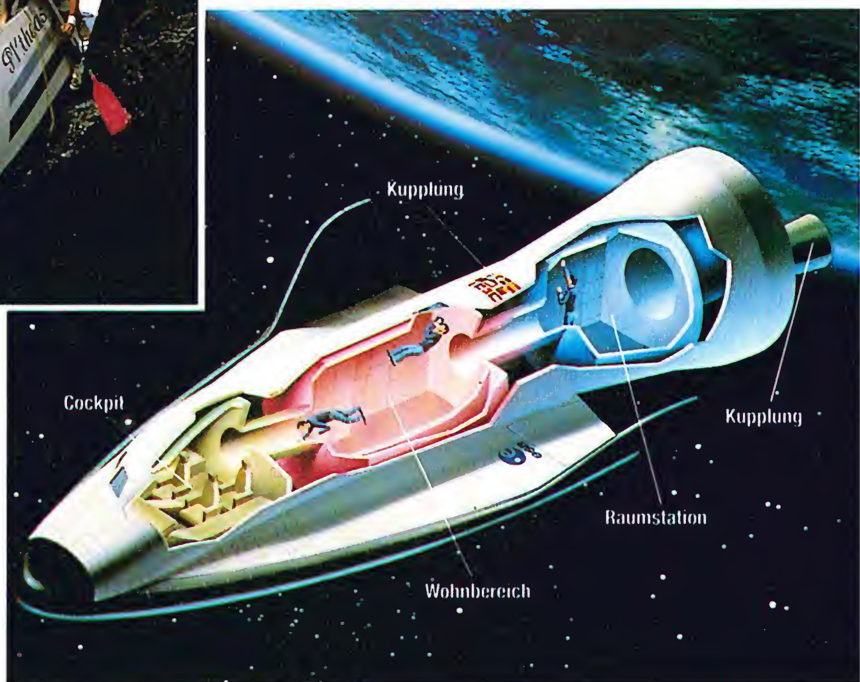

Ducros/Jerrican

◄ ***Hermes** sollte wie ein Flugzeug auf einer Rollbahn landen. Ende 1993 wurde das Projekt wegen Geldmangel gestrichen.*




Gamma/Frank Spooner Pictures

▲ ***Test für den Notfall:** Ein Modell des Raumgleiters Hermes wird daraufhin getestet, ob es schwimmfähig ist, falls es notwassern muß.*




Ducros/Jerrican

▼ ***Die Besatzung** des Raumgleiters könnte zwischen Cockpit, Wohnbereich und einer angekoppelten Raumstation hin- und herpendeln. Für Arbeiten außerhalb des Gleiters ließe sich ein Ausstiegsluk vorsehen.*

Die Sache hat allerdings auch einen gewaltigen Haken. Die Leitungen unter der Haut des Jets sind sehr empfindlich und müßten daher besonders geschützt sein. Schon beim kleinsten Leck irgendwo drohte das Weltraumflugzeug sonst zu explodieren. Ein Risiko, auf das sich der Jet-set des nächsten Jahrhunderts wohl kaum gerne einließe.





bringen. Der Spacejet könnte dann sogar zu einem Prestigeobjekt werden.

In Deutschland gibt es bereits Pläne zum Bau eines zweistufigen, wiederverwendbaren Raumflugzeuges. Es trägt die Bezeichnung „Sänger“.

Die erste Stufe des Sänger soll ein 52 Meter langes, vierhundert Tonnen schweres „Mutterschiff“ mit eigener Besatzung und einer Spannweite von 25 Metern sein. Angetrieben von Turbinen, die den in der Atmosphäre enthaltenen Sauerstoff nutzen, könnte es bis auf Mach 6 beschleunigen und eine Höhe von etwa dreißig Kilometern erreichen. Dann würde sich die zweite Stufe, ein fünfzehn Meter langer Raumgleiter, vom Mutterschiff lösen. Raketenmotoren bringen den Gleiter dann in die berechnete Umlaufbahn, während das Mutterschiff zur Erde zurückkehrt.



▶ ***Die MD-2001,*** *McDonnell Douglas' Vorschlag zum NASP-Programm, könnte Passagiere in zweieinhalb Stunden von Washington nach Peking bringen. Aber dieser superschnelle Jet ist auch militärisch interessant. Daher könnten die Gelder für solche Projekte in den USA bald wieder reichlich sprudeln.*

McDonnell Douglas/DOD

## PEGASUS




Gamma/Frank Spooner Pictures

Anfang 1990 wurde ein neues Startsystem für Satelliten namens „Pegasus“ erfolgreich getestet – als scharfer Konkurrent für Shuttles. Der Pegasus-Booster wird von einer Boeing B 52 unter dem Flügel bis auf eine Höhe von etwa 12 000 Meter geschleppt; dort klinkt er aus, und seine Raketenmotoren zünden für die Reise in den Orbit. Der fünfzehn Meter lange und achtzehn Tonnen schwere Pegasus sieht aus wie eine kleine Rakete mit drei Paar Stummelflügeln. Unter seiner weißen Außenhaut verbergen sich drei Triebstufen, jede mit einem Feststoffraketenmotor. Er kann kleinere Satelliten mit einem Gewicht bis zu 450 Kilogramm in den erdnahen Orbit transportieren. Man schätzt, daß dabei nur die Hälfte der Kosten anfällt, die ein Shuttle-Start nach herkömmlichem Muster erfordert.

Die Zukunft des Projekt Sänger sieht allerdings nicht rosig aus, denn für die Weltraumfahrt fließen in den letzten Jahren die staatlichen Zuschüsse immer dürftiger. Seit dem Ende des kalten Krieges hat die Weltraumfahrt an militärischer Bedeutung verloren, folglich wurden die Mittel für die Forschung gekürzt. So hat die Europäische Raumfahrtagentur (ESA) auf den Bau von Hermes verzichtet.

## Ein kostspieliges Unternehmen

Auch Großbritannien beschäftigte sich eine Zeitlang mit Studien zum Bau eines waagerecht startenden und landenden Weltraumflugzeugs: HOTOL. Es sollte ein völlig neuartiges Turbinensystem bekommen – doch die finanziellen Mittel für das britische Raumfahrtprogramm sind mittlerweile stark zusammengestrichen.

Gespart wird bei allen Programmen, allerdings waren die Kosten in astronomische Höhen geklettert. Allein bei der Raumfähre Hermes waren von 1987 bis 1993 die Entwicklungskosten um 41 Prozent auf gut 15 Mrd. DM gestiegen. Neue Projekte sind nur noch in internationaler Zusammenarbeit finanzierbar.

### Kaum zu glauben

**DER ORIENT EXPRESS**

DER WELTRAUMJET NASP TRÄGT DEN SPITZNAMEN ORIENT-EXPRESS, WEIL ER EINES TAGES SEINE PASSAGIERE IN NUR ZWEI STUNDEN VON NEW YORK NACH TOKIO BRINGEN SOLL!



Paul Raymonde




Gamma/Frank Spooner Pictures

▼ ***Sänger,*** *das geplante deutsche Weltraumflugzeug, besteht aus einem Mutterschiff, das einen kleineren Gleiter bis in den Weltraum emporträgt; von dort steigt er allein in die Umlaufbahn.*



# DER GRIFF NACH DEN PLANETEN

Ames Research Center



NASA

**▲ *Die erste Venuskarte:*** *sie geht auf Radarmessungen der Sonde Pioneer im Jahr 1978 zurück. Magellan (links) umkreist Venus und sendet jeweils auf dem Scheitelpunkt der Bahn Daten zur Erde, die Basis für genauere Karten.*

**IM WETTLAUF ZU DEN PLANETEN liegen unbemannte Raumsonden ganz vorn. Bevor ein Mensch seinen Fuß auf einen Planeten oder Mond setzt, haben sie den Himmelskörper längst etliche Male umrundet, seine Oberfläche vermessen und die erste Landung vollzogen.**

Unbemannte Raumsonden sind die Pioniere im Weltall. Wenn ein Mensch einen Ausflug zu den Nachbarplaneten der Erde unternehmen soll, sind sie schon vor ihm unterwegs. Sie müssen erkunden, was die Astronauten in der Ferne erwartet, und wichtige Phasen des geplanten bemannten Fluges proben. Gäbe es sie nicht, wäre der Ausflug ins All für Menschen ein Himmelfahrtskommando im wahrsten Wortsinne.

Inzwischen ist die Technik, unser Planetensystem mit unbemannten Sonden zu erforschen, sogar so weit gediehen, daß man sich in den Raumfahrtbüros der Welt fragt, ob ihr nicht der absolute Vorrang zu geben sei. Und tatsächlich: Wenn man darüber etwas nachdenkt, kann man durchaus zu dem Schluß kommen, daß Astronauten die Raumfahrt nur behindern. Menschen im All machen vielerlei Probleme. Sie haben dauernd Hunger und Durst, brauchen darum jede Menge Verpflegung, leiden unter Raumkrankheit. Und was das schlimmste ist: Wohin man sie auch schickt, sie erwarten, daß man sie zurückholt. Raumsonden sind da anspruchsloser. Vor allem aber können sie in die Gegenden unseres Planetensystems vordringen, in denen Raumfahrer mit unerträglichen Belastungen – Gluthitze, bitterster Kälte oder Säurenebel – zu kämpfen hätten.

So hüllen beispielsweise Schwefelsäurewolken die Venus ein. Zwar weiß man inzwischen – dank Raumsonden übrigens –, daß ihre untere Grenze bei 30 km über Grund liegt. Doch heißt das noch lange nicht, daß es auf unserem Schwesterplaneten gemütlich wäre. Astronauten müßten hier 450° C ertragen, eine Hitze, die auf der Erde locker ausreicht, um Zink zu schmelzen. Doch nicht auf der Venus, denn hier beträgt der Atmosphärendruck rund das Hundertfache des irdischen Luftdrucks.

Trotz dieser widrigen Umstände ist es bereits gelungen, Bodenproben der Venus zu nehmen. Die sowjetischen Sonden Venus 13 und 14 setzten im März 1982







◀ ***Die Tochtersonde*** *der Galileo dringt in die Atmosphäre des Jupiter ein. Ein Fallschirm öffnet sich, der rotglühende Hitzeschild wird abgesprengt.*

NASA

Hansen Planetarium

◀ ***Kometen*** *sind ebenfalls Ziele für Sonden. Nach den erfolgreichen Besuchen von Vega und Giotto bei Halley plant die NASA, eine Sonde in den Orbit eines Kometen zu schießen. Die ESA will um 2000 sogar Bodenproben nehmen.*

auf dem heißen Pflaster auf und funkten nach Experimenten, die nur zehn Minuten in Anspruch nahmen, ihre Meßwerte zur Erde. Aus ihrer Analyse weiß man heute, daß auf der Venus ähnliches Basaltgestein zu finden ist, wie es auch auf der Erde vorkommt.

Bei der Erkundung des Mars galt das besondere Interesse der Wissenschaftler der Frage, ob sich irgendwelche Spuren organischer Substanzen im Boden finden ließen. Doch die automatischen Labors der Sonden entdeckten nicht das geringste Anzeichen für Leben. Dennoch warten die Wissenschaftler in aller Welt gespannt auf zukünftige Marsmissionen.

Rußland will 1996 und 1998 Raumspäher auf dem Mars landen, mit deutschen Kameras an Bord. Vielleicht kommen sie zu anderen Ergebnissen; es könnte ja der Fall sein, daß die Viking-Sonden 1976 nur zufällig in lebensfeindlichen Gebieten des roten Planeten aufsetzten. Auch die Gasriesen Jupiter und Saturn liegen für die Wissenschaftler mittlerweile zum Greifen nah. Im Dezember 1995 schwenkt die deutsch-amerikanische Raumsonde Galileo auf eine Umlaufbahn um den Jupiter ein. Eine kleine Tochtersonde soll in seine Atmosphäre eintauchen und uns Daten von einem Himmelskörper liefern, der mit den bisher erforschten Welten so gut wie nichts gemein haben dürfte.

Noch abenteuerlicher mutet das für 1996 geplante Projekt Cassini an. An Bord des Raumspähers befindet sich – wie bei Galileo – eine Tochtersonde. Sie ist nach Christiaan Huygens benannt, der 1655 den Saturnmond Titan entdeckte. Ihn soll sie erforschen.

## Mond mit Atmosphäre

Titan ist ein Riesenmond, größer als der Planet Merkur. Die Besonderheit an ihm: Er hat eine Atmosphäre. Seit dem Vorbeiflug von Voyager wissen wir, daß in und unter der orange-bräunlichen Wolkenschicht Stickstoff, $CO_2$, Argon und Kohlenwasserstoffe wie Methan stekken. Überdies scheint die Zusammensetzung der Atmosphäre mit den Jahreszeiten auf Titan zu schwanken. Wissenschaftler vermuten sogar, daß es in dieser Atmosphäre so etwas wie Wettergeschehen geben könnte.

Besonders gespannt ist man in aller Welt, was darauf Huygens unter den Wolken entdecken wird. Kontinente aus gefrorenem Methan, einen tiefen Ozean aus Methan vielleicht? Gleichgültig, ob Huygens landen oder „wassern" wird: Wenn die Sonde den Aufprall auf Titan übersteht, wird sie auch nach den Messungen in der Atmosphäre noch Daten zur Erde senden. Und diese Daten, so hofft man, werden Aufschluß darüber geben, wie ein so seltsamer Himmelskörper fernab von der Sonne entstehen konnte. Und das wiederum dürfte uns helfen, das Entstehen des Sonnensystems selbst besser zu begreifen.



▶ ***Cassini*** *im Orbit des Saturn. Im Hintergrund der geheimnisvolle Mond Titan. Cassini wird die Tochtersonde Huygens zu Titan schicken. Sie soll dessen Atmosphäre erkunden – und sogar landen, im Jahre 2002, sechs Jahre nach dem Start, denn so lange dauert die Reise. Cassini dient Huygens dann als Relaisstation, um die Daten zur Erde zu senden.*

Ross Wardle

# REPARATUREN IM ALL




***Der Greifarm** des Shuttles wurde von einer kanadischen Firma entwickelt. Hier ist er gerade dabei, das Hubble-Teleskop im Weltraum auszusetzen.*

NASA

**RAUMSONDEN UND SATELLITEN, vollgestopft mit technischen Instrumenten, gehören zu den kompliziertesten Werkzeugen der Forschung. Wenn Geräte an Bord ausfallen, werden schwierige Reparaturmanöver in der Schwerelosigkeit fällig, für die man wiederum Spezialwerkzeuge braucht – einige davon nur für diesen einen Zweck erfunden und gebaut.**

Im April 1984 startete die Raumfähre Challenger mit einer Spezialausrüstung an Bord, um den beschädigten Satelliten Solar Max zu reparieren. Das Shuttle näherte sich der Raumsonde bis auf 60 Meter, dann flog Astronaut George Nelson mit einem Düsenstuhl zum flügellahmen Satelliten.

Nelson sollte an einen seitlich aus dem Satelliten herausragenden Metallstab andocken, um den Satelliten mit Hilfe seines „Feuerstuhls" in die Ladeluke des Shuttles zu bugsieren. Doch es gelang Nelson nicht, den Metallstab mit dem Anschlußstück an seinem Düsenstuhl zu verbinden.

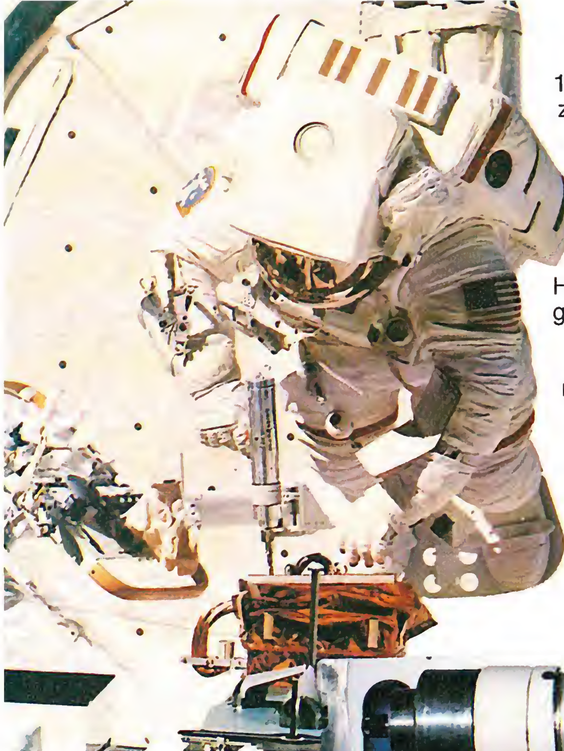
Erst mit einem anderen Werkzeug konnte Solar Max schließlich eingefangen werden – mit dem Greifarm des Shuttles. Als der Satellit sicher im Laderaum verankert war, entfernten die Astronauten mit einem Akkuschrauber die Sicherungsverschlüsse von der Hauptsteuereinheit. Nachdem sie die

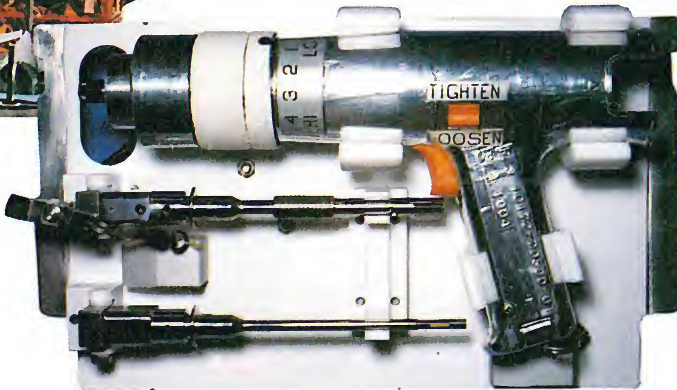


NASA

◄ ***Astronaut Dale Gardner** fängt den havarierten Kommunikationssatelliten Westar VI ein. Mit dem Antrieb des Düsenstuhls läßt sich die Raumsonde, die ebenso schnell wie das Shuttle und der Astronaut durchs All rast, manövrieren und in die Ladeluke des Shuttles bugsieren.*








NASA/Science Photo Library

▲ ***Bruce McCandless*** *arbeitet mit einem Spezialschrauber. Seine Füße sind befestigt, damit sich die Schraube und nicht der Astronaut dreht.*

NASA

funktionsuntüchtigen Module ersetzt und die Steuereinheit wieder zusammengebaut hatten, setzten sie den Satelliten wieder mit Hilfe des Shuttle-Greifarms im Weltraum aus.

Die Fachkenntnisse, die sich die NASA mit diesem Reparaturmanöver 1984 erwarb, sollten schon bald wieder zur Anwendung kommen. Seit Mai 1990 befindet sich das Hubble-Weltraumteleskop (HST) in der Umlaufbahn, wie sich bald herausstellte, der nächste Kandidat für eine Reparatur.

An Bord hat das HST so viele Spezialwerkzeuge zur Beobachtung des Himmels, daß es fast schon ein Wunder gewesen wäre, wenn alle Komponenten reibungslos funktionierten. Doch daß es zu so massiven Störungen kommen würde, wie sie nach dem Anschalten der Instrumente im Juni 1990 festgestellt wurden, damit hätte wohl niemand gerechnet.

Die beiden wichtigsten Fehlerquellen hatte man bald ausgemacht. Zum einen vibrierten die Solarzellenflügel – wahrscheinlich aufgrund thermischer Spannungen. Das Resultat: Die Aufnahmen, die das HST machte, „verwackelten". Zum andern – und das war wirklich ärgerlich – waren die beiden Spiegel des Teleskops nicht richtig aufeinander abgestimmt. Das nämlich hatte zur Folge, daß das Licht sehr weit entfernter Himmelsobjekte nicht gebündelt genug den Instrumenten zugeführt werden konnte, die es analysieren sollen.

Die Radikallösung für Problem zwei, den Hauptspiegel zu verformen oder ihm eine neue Oberfläche aufzudampfen, damit er das Licht wie geplant bündelt, wäre selbst auf der Erde ein schwieriger Job gewesen – in der Schwerelosigkeit des Alls eine kaum zu lösende Aufgabe. Man hat sich daher mit einer einfacheren Reparatur begnügt.

1993 wurde ein Shuttle zum HST geschickt, um den Störungen zu Leibe zu rücken. Die Sonnenzellenflügel wurden gegen „zitterfreie" Konstruktionen ausgetauscht und die Spiegel mit einer Korrekturlinse versehen. Mittlerweile ist das HST voll funktionsfähig und hat bereits wertvolle Informationen zur Entstehung des Alls geliefert – ohne Spezialwerkzeuge wäre das unmöglich gewesen.

## Kaum zu glauben

**FREISCHWEBENDES GEMÜSE**

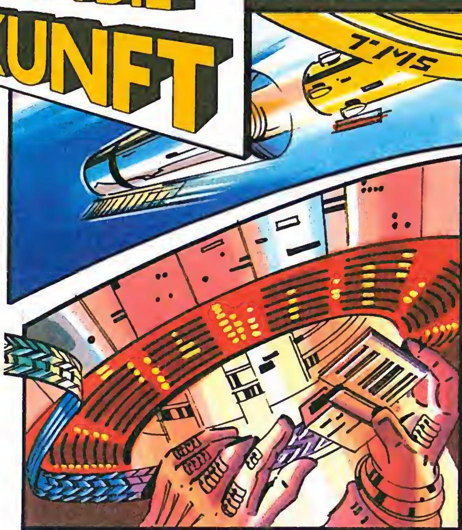
DIE AUF DER ERDE SELBSTVERSTÄNDLICHEN ESSWERKZEUGE SIND IM WELTALL VÖLLIG UNBRAUCHBAR. EINE MAHLZEIT WÜRDE VOM TELLER SCHWEBEN UND WÄRE MIT KEINER GABEL WIEDER EINZUFANGEN.



Paul Raymonde

## BLICK IN DIE ZUKUNFT

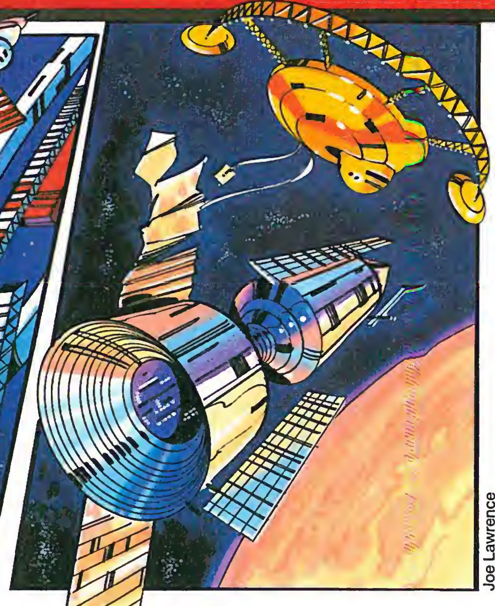
SATELLITENREPARATUR




▲ *Es ist billiger, Satelliten im All zu reparieren, als neue Sonden in die Umlaufbahn zu bringen. Sie werden daher noch reparaturfreundlicher konstruiert.*




▲ *In Zukunft werden statt Astronauten ferngesteuerte Weltraumroboter reparaturbedürftige Satelliten „einfangen" und zu einer Raumstation befördern.*



▲ *In der Raumstation ersetzen Astronauten die defekten Module. Der Weltraumroboter ist währenddessen schon wieder unterwegs, um weitere defekte Satelliten einzusammeln.*

Joe Lawrence

# GEHEIMNISVOLLE ZEICHEN

- FINSTERNISSE
- KOMETEN
- PLANETENSCHLEIFEN



Scala

▲ *Der Komet Halley beeindruckt die Menschen seit Jahrhunderten, den Maler Giotto gar so stark, daß er den Kometen, nachdem er ihn im Jahre 1304 sieht, als Stern von Bethlehem darstellt (links).*

Ronald Royer/Science Photo Library

**VERRATEN STERNE DIE ZUKUNFT? Früher zumindest glaubten die Menschen fest daran. Auch heute noch lesen viele jeden Morgen „ihr" Horoskop in der Zeitung, und mancher schiebt eine wichtige Entscheidung gerne etwas auf, bis die Sterne für sein Vorhaben günstiger stehen. Doch zugeben, daß er glaubt, die Sterne würden unser Schicksal lenken, wird kaum jemand. Das Horoskop lesen? Klar! Aber nur zur Unterhaltung!**

Schon früh befaßte sich der Mensch mit den Zeichen des Himmels. Ein Bauwerk bei Newgrange in Irland, 5000 Jahre alt und auf den ersten Blick nur ein primitives Grab aus großen Steinen, ist der Beweis dafür.

Manch einer glaubt, daß die Menschen vor 5000 Jahren noch im Bärenfell und mit Keule unterwegs waren und geselliges Grunzen ihre Hauptunterhaltung war. Tatsächlich jedoch vollbrachten sie zu dieser Zeit bereits beeindruckende wissenschaftliche Leistungen, denn bei genauerer Betrachtung erweist sich das Hünengrab als superpräziser Kalender.

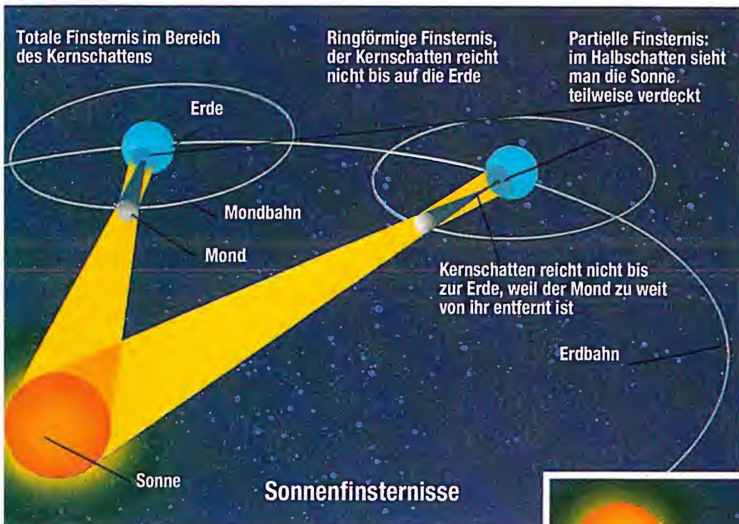
Durch einen Spalt fällt das Licht der Sonne ins Grab. Der Clou: An nur einem Tag im Jahr treffen ihre Strahlen auf eine von Menschenhand in die Felswand gemeißelte Spirale. Es ist der kürzeste Tag des Jahres, der Zeitpunkt der Wintersonnenwende – zwei Tage vor dem, an dem wir Heiligabend feiern.

Der Strahl auf der Spirale ist der klare Beweis dafür, daß sich schon vor 5000 Jahren Menschen mit den Geschehnissen am Himmel, dem Sonnenlauf zumindest, ernsthaft auseinandersetzten. Und sie waren bereits in der Lage, anhand dieser Himmelszeichen festzustellen, wann ein Jahr herum war. Diese wissenschaftliche Sterndeutung befähigte sie wiederum, durch Zählen der Tage wichtige Termine zu bestimmen – etwa den günstigsten Zeitpunkt für die Aussaat von Getreide.

Wie viele Menschen damals die Deutung der Sterne wissenschaftlich betrieben, läßt sich nur vermuten. Wahrscheinlich waren es nur wenige, Wissenschaftler und Priester zugleich, die den „Willen der Götter" von den Zeichen am Himmel ablesen konnten. Sicher ist zumindest, daß die Beschäftigung mit Himmelsereignissen und Religion in vielen Kulturen miteinander verknüpft waren. Kein Wunder, denn die Beständigkeit der Sterne ist für uns Menschen überaus beeindruckend,

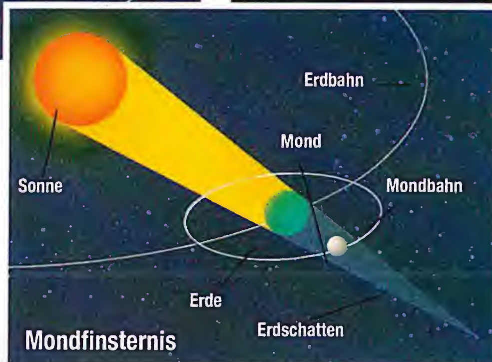







Dr. Fred Espenak/Science Photo Library






Mark Franklin

▲ ***Sonnenfinsternisse** finden häufiger als Mondfinsternisse statt, doch sind sie jeweils nur von dem kleinen Gebiet aus zu beobachten, auf das der Mondschatten fällt (links oben). Mondfinsternisse (links) sind hingegen von der ganzen Nachtseite der Erde sichtbar. In Deutschland ist die nächste totale Sonnenfinsternis am 11. 8. 1999 von den südlichen Bundesländern aus zu sehen.*

können wir doch nur Vergängliches schaffen. Und sicher ist auch, daß derjenige, der die Himmelszeichen deuten konnte, Macht hatte. Solange er für sich behielt, wie er zu seinem Wissen kam, es höchstens an einen Schüler weitergab, hing von seinen Prophezeiungen ganz wesentlich ab, ob alle genügend zu essen haben würden. Das aber bedeutet zumindest so viel Macht für den Sterndeuter, daß der Rest der Bevölkerung bereit gewesen sein dürfte, ihn durchzufüttern. Damit hätte er viel Zeit gewonnen, sich mit der weiteren Erforschung des Himmels zu befassen.

## Herr über die Sterne

Dadurch aber konnten die frühen Sterndeuter noch mehr Macht entwickeln. Gibt es doch am Himmel genügend Ereignisse, mit denen sich Eindruck schinden läßt. Vor allem Vorhersagen von Finsternissen eigneten sich für große Auftritte. Die Sterndeuter konnten dann so tun, als würde sich der Himmelskörper auf ihr Geheiß verdunkeln – und durch ihre Gnade wieder erscheinen.

Von babylonischen Himmelsforschern weiß man, daß sie schon vor 4000 Jahren hoch angesehen waren. Sie führten genau Buch über Ereignisse am Himmel und die gleichzeitigen Geschehnisse auf der Erde. Dabei stellten sie fest, daß sich viele Himmelsereignisse aufgrund der Regelmäßigkeit der Planetenbewegungen vorhersagen ließen, und versuchten auch das Geschehen auf der Erde zu prophezeien.

Die Geburt Christi wurde so vorhergesagt. Über Jahre glaubte man, daß es sich beim Stern von Bethlehem, der sie angekündigt haben soll, um einen Kometen gehandelt hat. Heute weiß man, daß diese Vermutung fälschlicherweise auf ein Gemälde des italienischen Malers Giotto zurückgeht, der den Stern von Bethlehem 1305 das erstemal als Komet darstellte.

Wahrscheinlich kam Giotto auf diese Idee, weil er kurz zuvor einen Kometen sah. Im Jahre 1682 stellte der Astronom Halley fest, daß viele Kometen regelmäßig wiederkehren. Der Komet, an dessen Beispiel er dies nachwies, trägt heute seinen Namen. Er erscheint alle 76 Jahre – und er war, so kann man zurückrechnen, am Himmel zu sehen, kurz bevor Giotto die Geburt Christi malte. Da jedoch die Menschen vor 1682 keine Ahnung von der Regelmäßigkeit der Kometen hatten, kommen diese Himmelskörper für die Prophezeiung der Geburt Christi nicht in Frage.

Aufgrund alter Schriftstücke nimmt man heute an, daß hinter dem Stern von Bethlehem eine sehr seltene Planetenstellung im Jahre 7 vor Christus steckt: eine morgendliche Sichtbarkeit des Merkur, der einige Tage später eine dreifache Konjunktion von Jupiter und Saturn in den Fischen folgte.

## König der Juden

Die Deutung dieses Vorgangs lautet nach den damaligen Auffassungen: Merkur kündet das Erscheinen des höchsten Gottes Jupiter an, ihm folgt der Stern Israels, der Saturn. Jupiter und Saturn erleben ganz eng beieinander ihren Abendaufgang. Alles spielt sich im Sternbild Fische, dem himmlischen Zeichen für Palästina ab. Zusammengefaßt: Ein neuer König der Juden wird geboren.

Was wir heute als unterhaltsame Astrologie kennen, ist nur noch ein schwacher Abglanz dessen, was die Himmelsdeutung einst war. Zwar gibt es keine Anzeichen dafür, daß sich aus den Sternen tatsächlich das Geschehen auf der Erde vorhersagen ließe. Aber man sollte nicht verkennen, daß die Astrologen früherer Zeiten auch Geschichtsschreiber waren, und vielleicht darum wußten, welche Weltlage welche Ereignisse zur Folge haben könnte.

### KONJUNKTION VON PLANETEN

Ein Beobachter auf der Erde nimmt die Bewegung der Planeten auf ihren Bahnen so wahr, daß sie jede Nacht vor dem Hintergrund der Fixsterne ein Stückchen wandern. Unterschiedliche Planeten kommen dabei unterschiedlich schnell voran. Daher überholen sie einander, eine Konjunktion findet statt. Planeten können sich auch mehrmals kurz hintereinander überholen, denn ihre Bahnen scheinen von der Erde aus gesehen manchmal in Schleifen zu verlaufen (rechts).




Joachim Ahlgrimm



● FREMDE GESTIRNE ● ZEITRAFFER ● ELEKTRONISCHE PROJEKTOREN

# ZEITMASCHINE PLANETARIUM



American Museum-Hayden Planetarium

**EINE MONDFINSTERNIS IN CHINA oder die Mitternachtssonne über der Arktis – wer möchte das nicht einmal erleben? Unter der sanft gewölbten Kuppel des Planetariums wird selbst der Blick in den Sternenhimmel der südlichen Erdhälfte möglich.**

Der Raum verdunkelt sich, und auf einer hydraulischen Hebebühne steigt wie ein urzeitlicher Dinosaurier der Planetariumsprojektor aus der Tiefe empor. Das fast fünf Meter hohe Ungetüm besteht aus zwei großen beweglichen Kugeln, die durch einen Zylinder verbunden sind. Eine der Kugeln projiziert den nördlichen Sternenhimmel naturgetreu an die Kuppel, die andere zeigt das Firmament, wie man es von der südlichen Erdhälfte aus sehen würde. Insgesamt kann ein moderner Zeiss-Projektor bis zu 9000 Sterne pro-

David Parker/Science Photo Library

***Spezialeffekte** sorgen dafür, daß ein Besuch im Planetarium zum Erlebnis wird. Eine Reise durchs Sonnensystem? Kein Problem!*





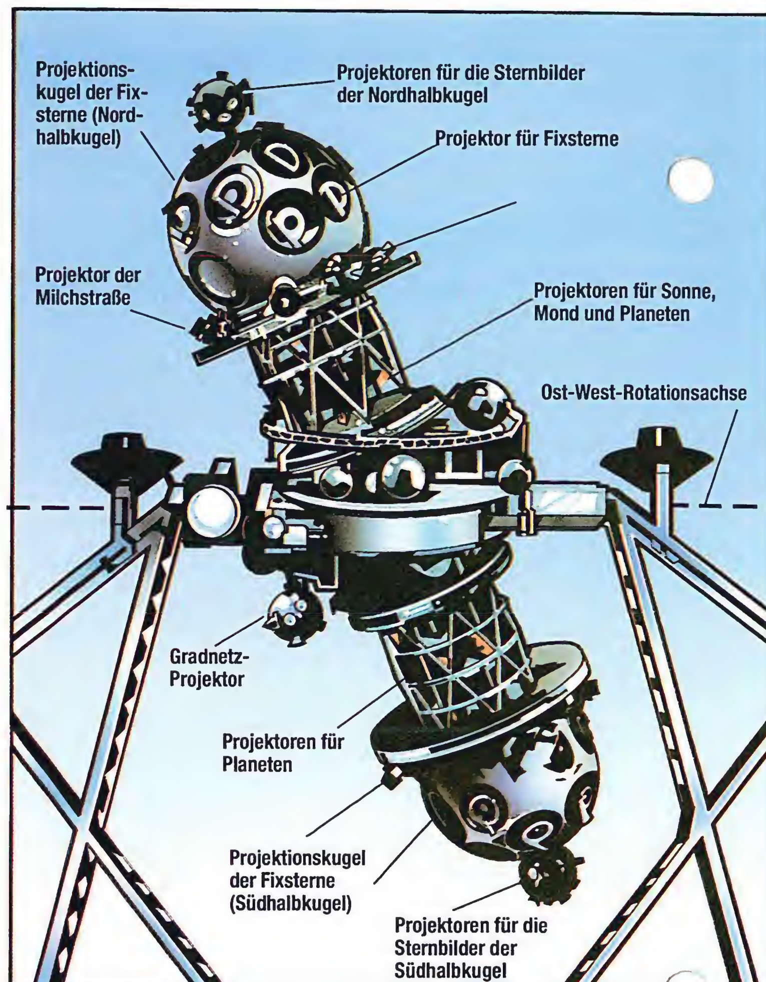
jizieren – das ist mehr, als wir mit bloßem Auge von der Erde aus erkennen können.

Durch Drehung der Projektionskugeln wird die Bewegung der Himmelskörper simuliert, so wie sie uns von der Erde aus erscheint. Zusatzprojektoren am Gerüst zwischen den Kugeln sorgen dafür, daß die Sonne, der Mond und die Planeten unseres Sonnensystems am künstlichen Himmel erscheinen.

## HEIM-PLANETARIUM

Dank der Computertechnik kann man die Sterne und Planetenkonstellationen auch zu Haus auf den Monitor zaubern. In Fachzeitschriften für Astronomie werden vielerlei Programme angeboten. Bei manchen genügt es, den gewünschten Ort und die Zeit einzugeben, und die entsprechende Konstellation erscheint auf dem Bildschirm. Andere Programme stellen Berechnungen an, die es erleichtern, Planeten und Planetoiden mit dem Fernrohr am Himmel aufzufinden – eine Hilfe für den Hobby-Astronomen.

Alle wichtigen Ereignisse im Lauf des des Universums können im Planetarium mit der computergesteuerten Zeitmaschine dargestellt werden. Von einem Steuerpult aus läßt sich der Projektor so einstellen, daß er den Sternenhimmel zu jedem beliebigen Zeitpunkt, sei es in der Vergangenheit, in der Gegenwart oder in der Zukunft, zeigt. Da erscheint zum Beispiel am Himmel zu Zeiten um Christi Geburt der Stern von Bethlehem. Oder man kann die Planetenpositionen in der




▶ ***Der Zeiss-Projektor*** *hat 16 Projektoren in beiden Kugeln – jeder von ihnen ist mit einem eigenen optischen System ausgestattet. Er ist um drei Achsen beweglich, so daß er sämtliche Bewegungen der Himmelskörper darstellen kann.*



▼ ***Der Sternenhimmel*** *vom Innern des geheimnisvollen prähistorischen Steinkreises Stonehenge in England aus gesehen: Durch Drehung des Projektors kann der Himmel von jedem beliebigen Punkt der Erde aus betrachtet werden. Es ist sogar möglich, das Sternengeschehen zurückzudrehen und den Himmel so zu zeigen, wie ihn die Erbauer des Steinkreises vor rund 4000 Jahren gesehen haben. Die Galaxien sind nur eingeblendet, damit der Himmel noch eindrucksvoller erscheint.*

London Planetarium

Paul Desmond

Geburtsstunde jedes beliebigen Menschen nachvollziehen.

Durch Zeitraffung sieht man die Bewegung der Sterne innerhalb einer Nacht, eines Monats oder eines Jahres in wenigen Minuten. Sonne, Mond und Planeten durchlaufen die Sternbilder des Tierkreises, die im Laufe einer Nacht im Osten aufgehen und im Westen untergehen.

## Reise ins Jahr 25 700

Die maximale Reisegeschwindigkeit durch Raum und Zeit beträgt in den modernen Planetarien 432 Erdenjahre pro Sekunde. Durch diese ungeheure Geschwindigkeit lassen sich interessante astronomische Phänomene zeigen. Die Erde dreht sich wie ein Kreisel um sich selbst. Durch den Einfluß von Sonne und Mond kommt sie bei dieser Bewegung jedoch leicht ins „Taumeln". Eine derartige Schwingung, die in der Astronomie als Präzession bezeichnet wird, dauert 25 700 Jahre – eine Zeitspanne, die sich im Planetarium auf ein paar Minuten verdichten läßt. Dabei erkennt man, wie der Himmelspol sich anfangs mit dem Polarstern deckt und sich dann allmählich von ihm entfernt. Er beschreibt eine Kreisbahn und kommt schließlich wieder am Ende des kleinen Wagens an.

Viele Planetarien bieten in ihren Vorführungen noch zusätzliche Spezialeffekte wie Mond- und Marslandungen oder rasante „Flüge" zu anderen Planeten. Unterstützt werden diese Shows mit eingeblendetem Filmmaterial oder Dias, etwa von der Erde und ihrem Trabanten, dem Mond, so daß man fest glaubt, wirklich in einem Raumschiff zu sitzen. Übrigens: Die Darstellung des Sternenhimmels und der Planetenbewegungen ist so präzise, daß Astronauten, Piloten und Schiffsoffiziere im Planetarium astronomische Navigation trainieren.

## Kaum zu glauben

**SCHNELLE LESER**

DIE ERDE RAST MIT 1788 KM PRO MINUTE UM DIE SONNE. WÄHREND DES LESENS DIESER SEITE HAT MAN ALSO TAUSENDE VON KILOMETERN DURCHS SONNENSYSTEM ZURÜCKGELEGT.

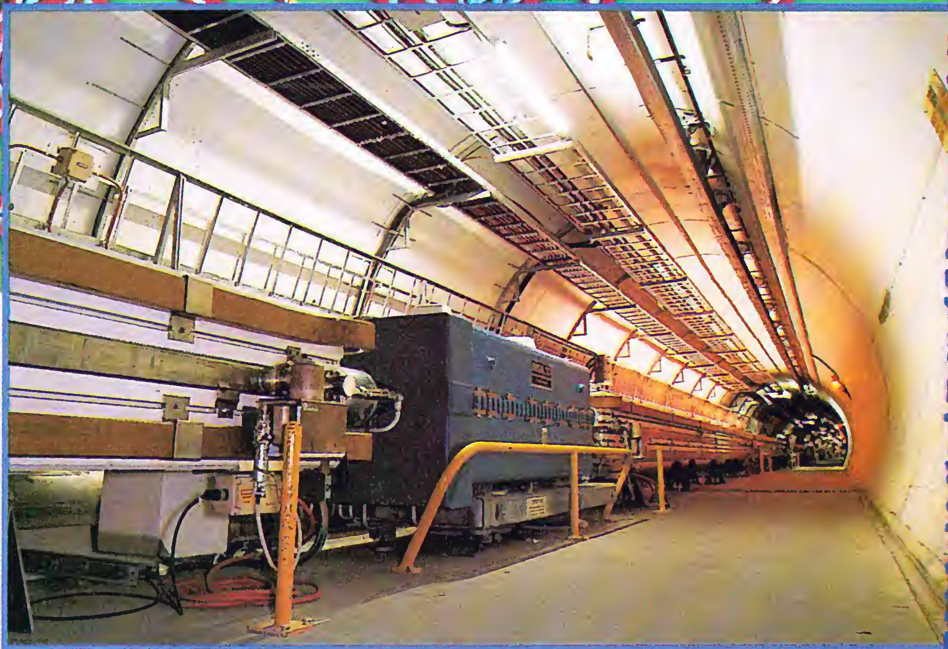


Paul Raymonde



# UNBEKANNTE DIMENSIONEN

*Die gekrümmten* ***Bahnen*** *der „Bruchstücke", die entstehen, wenn Atomteile im Teilchenbeschleuniger (unten) zusammenkrachen, geben nach Meinung einiger Forscher Hinweise auf uns sonst verborgene Dimensionen.*



Patrice Loiez/CERN/Science Photo

**DER RAUM UND DIE ZEIT, das sind die Dimensionen, die unser tägliches Leben bestimmen. Um die physikalischen Vorgänge in der Natur zu erklären, reichen vier Dimensionen jedoch nicht aus. Es muß noch weitere Dimensionen geben.**

Nehmen wir an, wir würden in einer eindimensionalen Welt leben; dann wären wir Punkte und könnten uns einzig und allein auf einer Linie bewegen. Sollte man seinen Aufenthaltsort in dieser „Strichwelt" beschreiben, würde dazu eine Zahl ausreichen. Man könnte zum Beispiel sagen: „Ich befinde mich 5 cm vor oder hinter einem Bezugspunkt."

Lebten wir als eindimensionale Wesen auf einer Kreislinie, könnten wir das Vorhandensein einer zweiten Dimension zwar nicht direkt wahrnehmen, aber theoretisch ermitteln. Würden wir nämlich immer nur geradeaus auf der Linie reisen, kämen wir irgendwann zum Ausgangspunkt zurück – ohne eine weitere Dimension wäre das nicht möglich.

## Keine Luftsprünge

Wären wir zweidimensionale Lebewesen, würde das unsere Bewegungsfreiheit auf die Fläche ausweiten. Für eine Positionsangabe bräuchte es dann zwei Zahlen, die sich an einem imaginären Koordinatenkreuz orientieren: zum Beispiel 5 cm nördlich und 3 cm östlich. Als zweidimensionales Wesen bliebe die dritte Dimension für uns allerdings ein Rätsel, denn Luftsprünge wären für uns Flächenwesen nicht drin.

Befänden wir uns als „Flachlebende" auf einer Kugel, würden wir nach einer Umrundung unseres Planeten zum Ausgangspunkt zurückkehren. Diese Tatsache würde uns nach einiger Überlegung darauf bringen, daß es noch eine weitere Dimension geben muß.

Glücklicherweise stehen uns drei Dimensionen zur Verfügung, in denen wir uns frei bewegen können. Entsprechend brauchen wir zur Bestimmung von Raumgrößen drei Zahlen: für Höhe, Breite und Tiefe. In unserer Welt spielt aber noch eine vierte Dimension eine Rolle: die Zeit. Wir benutzen sie zwar als Maßeinheit, aber frei bewegen können wir uns in dieser Dimension nicht. Eine Reise durch die Zeit blieb bisher ein Traum, der die Phantasie vieler Menschen beflügelt hat.

Über Jahre schien die wissenschaftliche Welt mit diesen Einteilungen klar geordnet und für jedermann verständlich zu sein. Das Weltall erstreckte sich in drei Dimensionen, und die Zeit verstrich gleichmäßig; Raum und Zeit schienen unabhängig voneinander zu sein. Doch mit Albert Einsteins Relativitätstheorie fand der theoretische Sprung nach vorne statt, der die gewohnte Ordnung gehörig durcheinanderbrachte.

David Parker/Science Photo Library

## Einsteins Theorie

Er räumte mit der Vorstellung von beständigen Entfernungen und Zeitverläufen auf, und erklärte, daß alle Maße von der relativen Geschwindigkeit des Betrachters abhängen. So würde zum Beispiel die Zeit für einen Raumfahrer mit annähernder Lichtgeschwindigkeit langsamer ablaufen, als für seinen Zwillingsbruder auf der Erde.

Aber nicht nur die Geschwindigkeit, auch eine starke Gravitation läßt die Zeit langsamer verlaufen. Gravitation oder Schwerkraft wird durch Masse verursacht. Sie hält das Universum zusammen und bestimmt die Bewegungen der Himmelskörper.

Nach Einstein verändert die Gravitation nun aber nicht nur den Verlauf von





Zeit, sondern auch den Raum. Er stellte fest, daß es keine gerade Linie im Raum gibt. Selbst ein masseloser Lichtstrahl wird von den Gravitationskräften des Universums so gebeugt, daß er schließlich an seinen Ausgangspunkt zurückkommt. Der Meister selbst veranschaulichte das folgendermaßen: Wenn wir mit Supersehkraft nur lange genug ins Weltall schauen könnten, würden wir eines Tages unseren Hinterkopf sehen.

Unsere alltägliche Welt verändern diese Erkenntnisse wenig, denn selbst wenn man mit 200 Sachen über die Autobahn brettert, reicht das noch nicht aus, um die Zeit spürbar zu verlangsamen. Für die Wissenschaft war Einsteins Theorie jedoch ein entscheidender Schritt auf dem Wege, die physikalischen Vorgänge in unserem Universum zu ergründen.

NOAO/Science Photo Library

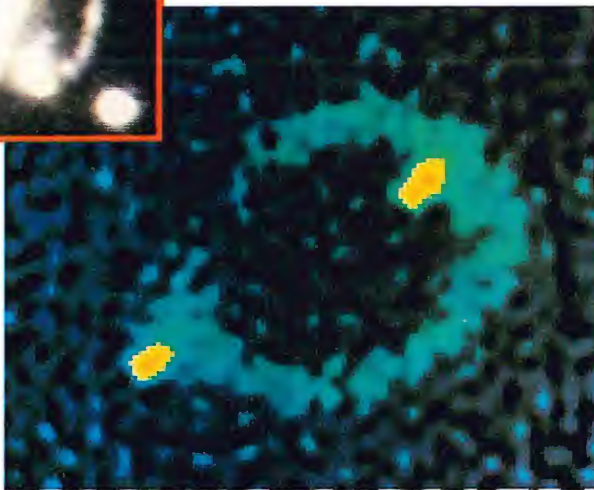
## Winzigste Teilchen

Während Einstein seine Relativitätstheorie entwickelte, machten sich andere Forscher auf die Suche nach den kleinsten Teilchen, aus denen die Materie besteht. Dabei stellte sich heraus, daß sich die Elementarteilchen Proton und Neutron noch weiter zertrümmern ließen. Die Untersuchung dieser winzigsten Teilchen erweist sich jedoch bis heute als überaus kompliziert und wirft eine Unmenge neuer Fragen auf. Die kleinsten Teile sorgen zudem für Überraschungen, weil sich abhängig von der Art ihrer Untersuchung auch ihre Eigenschaften verändern. Eins scheint jedoch klar zu sein, die Gesetzmäßigkeiten der vierdimensionalen Raumzeit genügen nicht, um die Vorgänge auf der mikrophysikalischen Ebene zu erklären.

Die neuesten Theorien über die Vorgänge auf kleinster Ebene sind so kompliziert und gleichzeitig aberwitzig, als kämen sie aus einem Science-Fiction-Roman. Sie sollen alle Vorgänge der Natur bis hin zur Entstehung des Weltalls erklären und werden deshalb auch bescheiden als „Theorie des Ganzen" (theory of everything) bezeichnet.

Die Superstringtheorie meint zum Beispiel, daß alles aus kleinsten Strings (Saiten) besteht. Das Größenverhältnis von Elementarteilchen zu Strings entspricht dieser Theorie nach dem Verhältnis von uns zum Elementarteilchen. In Zahlen ausgedrückt: Ein String ist $10^{-33}$ Zentimeter lang – oder „anschaulicher": 1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 Strings aneinandergereiht ergeben einen Zentimeter.





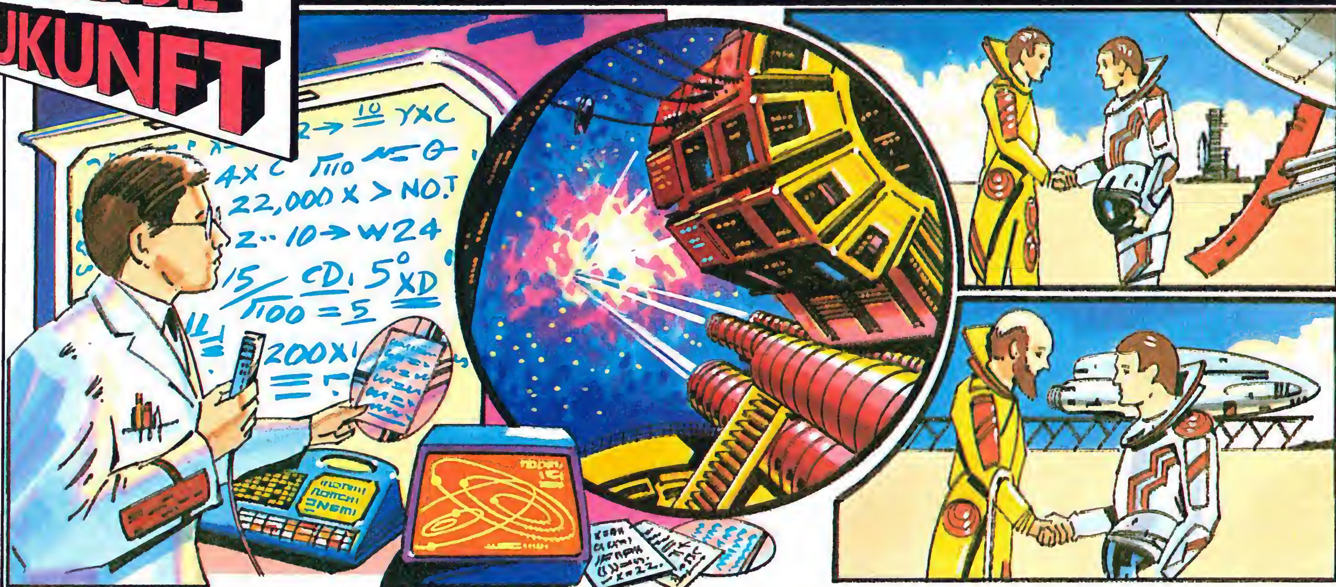
▲ **Die Gravitation** *im Weltraum verformt die vierdimensionale Raumzeit. „Gravitationslinsen" wie zum Beispiel ein Neutronenstern lenken durch ihre Anziehungskraft das Licht einer dahinterliegenden Galaxis bogenförmig ab, so daß sie von der Erde aus als Lichtring erscheint (rechts).*

NRAO/AUI/Science Photo Library

## Irre Strings

Mit diesen hypothetischen Teilchen ließen sich alle Wechselwirkungen zwischen Masse und Energie sowie Raum und Zeit erklären – jedenfalls dann, wenn man davon ausgeht, daß die Superstrings wellenförmig zwischen sage und schreibe 26 Dimensionen hin und herspringen.

Erfahren haben die Theoretiker diese 26 Dimensionen jedoch auch nicht. Nur durch mathematische Berechnungen sind sie auf diese Zahl gekommen. Immerhin wissen sie eine Antwort auf die Frage, wieso wir keinen Zugang zu den unbekannten Dimensionen haben. Laut Stringtheorie liegen sie seit den Tagen des Urknalls sozusagen aufgerollt im Kleinsten, den Strings. Nur unsere vier bekannten Dimensionen hätten sich beim Entstehen des Universums in der uns bekannten Form entwickelt.




*Lawrence*

▲ *Mutmaßungen einiger Physiker zufolge ist die Raumzeit von „Tunneln" durchzogen, die unser Universum mit bislang unbekannten Universen verbinden.*

▲ *Vielleicht sind Schwarze Löcher die Tunneleingänge und funktionieren wie kosmische Aufzüge, durch die man in andere Universen gelangen kann.*

▲ *Ob die Zeit bei der Tunnelreise im Raumschiff langsamer als auf der Erde verläuft – wie bei einer Fahrt mit fast Lichtgeschwindigkeit – ist völlig unklar.*



● SCHWERKRAFT ● FLIEHKRAFT ● KERNFUSION

# HIMMLISCHE KRÄFTE

**UNSERE SONNE IST RIESIG – nach menschlichen Maßstäben hat sie geradezu unvorstellbare Ausmaße. Ihre Masse ist tausendmal so groß wie die aller Planeten und Monde, die sie umschwirren, zusammengenommen. Die Erdkugel würde locker 1,3 millionenmal in sie hineinpassen. Und doch ist sie nur ein ziemlich durchschnittlicher Stern unter den hundertmilliarden Sonnen unserer Milchstraße.**

Irgendwo in einem der zahlreichen Spiralarme einer Milchstraße zieht eine unauffällige Sonne ihre Bahn um das Zentrum der Galaxis. Betrachtet man sie vom nächsten Sonnensystem aus, das immerhin 4 Lichtjahre entfernt liegt, kann man selbst mit den stärksten Fernrohren nicht erkennen, ob die Sonne von Planeten umkreist wird.

Wenn man sie jedoch aus dieser Entfernung über Jahre beobachtet, stellt man fest, daß sie nicht ganz still am Himmel steht, sondern ein klein wenig hin und her pendelt. Das bedeutet, daß diese Sonne Begleiter haben muß, denn Sonne und Begleiter drehen sich um den gemeinsamen Schwerpunkt des Sonnensystems. Da der Schwerpunkt

▲ ***Die Schwerkraft der Sonne*** *zwingt alle Planeten auf ihre Bahnen – genau wie die Schwerkraft der Erde Satelliten im Orbit hält.*

▼ ***Satelliten*** *wie Solar Max umkreisen die Erde außerhalb ihrer Atmosphäre, die den Blick ins All verschleiert. Sie vermitteln uns neue Einsichten darüber, welche Energien durch die Kernverschmelzung im Inneren der Sonne frei werden.*



Tony Stone Photo Library, London

NASA/SPL



des Systems recht nahe beim Mittelpunkt der Sonne liegt, können die Begleiter im Verhältnis zur Sonne nur sehr wenig Masse haben.

Auf einer dieser „Erbsen" leben Wesen, die sich für vernunftbegabt halten. Was man ihnen auf jeden Fall bescheinigen muß: Sie sind vielseitig interessiert. Obwohl sich noch keiner von ihnen in die Atmosphäre ihres Planeten – geschweige denn ins All – erhoben hat, stellen sie bereits scharfsinnige Vermutungen darüber an, wie weit wohl die Himmelskörper, die sie über sich sehen, von ihnen entfernt sind und wie groß sie wohl sind.

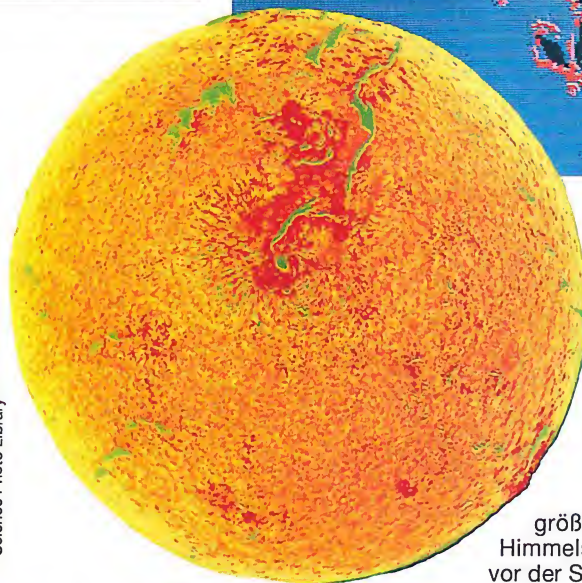
Besondere Aufmerksamkeit widmen sie der Sonne, denn von ihr stammt die Wärme, die sie auf ihrer Haut spüren, und sie läßt das Getreide auf ihren Feldern reifen. Von ihnen aus gesehen erscheint sie genau so groß wie der Mond, der ihren Planeten umkreist. Doch ab und an schiebt sich der Mond vor die Sonne. Daher wissen sie, daß die Sonne weiter entfernt als der Mond und auch größer sein muß. Auch andere Himmelskörper ziehen manchmal vor der Sonne vorbei – Planeten wie der, auf dem sie leben.

Durch die genaue Beobachtung finden sie allmählich heraus, daß die Planeten sehr regelmäßige Bahnen am Himmel beschreiben, und sie vermuten, daß eine himmlische Kraft diese Himmelskörper antreibt. Weil die Plane-



ZEFA

◀ ***Der Mond*** *erscheint uns bei einer Sonnenfinsternis so groß wie die Sonne. Doch allein die Wasserstoffwolke, die die Sonne hier herausbläst, ragt 500 000 km weit ins All. Der Durchmesser des Mondes: 3476 km.*



Nigel W. Scott/Science Photo

Science Photo Library

◀ ***Die Oberfläche*** *der Sonne in einer vom Computer bearbeiteten Falschfarbenaufnahme: Gebiete gleicher Temperaturen erscheinen in gleichen Farben. Sonnenflecken (oben) sind kühlere Gebiete. Ihre Länge: bis zu acht Erddurchmesser.*

## FINSTERNISSE

Gleichgültig, aus welchem Grund man die Sonne betrachten will – sei es, um Finsternisse oder Sonnenflecken zu beobachten: Man schaut nie ungeschützt in sie hinein, denn der direkte Blick in die Sonne ist eine viel zu große Gefahr für die Augen. Statt dessen projiziert man ihr Bild auf ein Stück Karton oder schaut sich das Ereignis durch ein spezielles Schutzglas an.

Wenn es etwas Interessantes auf der Sonne zu sehen gibt, begibt man sich am besten zur nächsten Sternwarte. Dort werden zu besonderen Ereignissen wie Sonnenfinsternissen Vorführungen angeboten.

Auch wenn sich das nächste Mal ein Planet vor die Sonne schiebt, werden die Sternwarten sicher wieder Gelegenheit bieten, „live" dabeizusein. Wer sich die Termine schon mal vormerken möchte: Venus wird das nächste Mal am 8.6.2004 vor der Sonne stehen, Merkur zieht am 15.11.1999 an ihr vorbei.



David PArker/Science Photo

▶ ***Die Masse*** *der Sonne ist so groß, daß ihre Schwerkraft für einen Druck von 22 100 Billionen Pascal in ihrem Zentrum sorgt. Die dadurch auf den Atomen im Zentrum lastenden Kräfte sind eine Voraussetzung für die Kernverschmelzung, den Prozeß, der in ihrem Innersten Energie erzeugt. In den äußeren Schichten der Sonne tragen Ströme von Gasmassen die Wärme an die Oberfläche. Sie bilden Wirbel bis in die Chromosphäre und Zonen unterschiedlicher Temperatur.*

Wirbel in oberflächennahen Schichten
Oberfläche (Photosphäre)
Kernfusion im Zentum
Energietransport durch Strahlung
Gaswirbel in der Chromosphäre

Mark Franklin



ten präzise wie ein Uhrwerk laufen, stellen sie sich die Kraftübertragung so vor, als würde sie von Zahnrädern bewerkstelligt. Greift ein kleines Zahnrad in ein größeres, so dreht sich das kleine schneller als große. Und so vermuten die Wesen, daß auch ein Planet, der lange für einen Umlauf braucht – die Dauer messen sie – von einem großen „Zahnrad" angetrieben wird, sein Abstand von der Sonne also ebenfalls groß ist.

Sally Bensusen (1987)/Science Photo Library

▲ ***Die Planeten** sind im Vergleich zur Sonne Winzlinge. Um die Sonnenscheibe im Maßstab der abgebildeten Planeten vollständig zu zeigen, bräuchten wir die Breite der ganzen Heftseite.*

## Rückläufige Schleifen

Dieser Gedanke scheint gut, denn er hilft, ein verwunderliches Phänomen zu erklären. Die langsamen – also die äußeren – Planeten scheinen manchmal vor dem Hintergrund der Fixsterne rückwärts zu laufen. Das erklären sich die neugierigen Wesen dadurch, daß ihr schnellerer Heimatplanet die äußeren Planeten überholt. Und sie erkennen: Je größer der Bahnradius des äußeren Planeten im Verhältnis zur Umlaufbahn ihres Planeten ist, desto weiter geschwungen erscheinen die rückläufigen Schleifen. Indem sie die Planetenbewegungen vor den Fixsternen vermessen, bekommen sie recht genaue Daten für die Abstände der Planeten: Einer ist etwa neunmal soweit vom Zentralgestirn entfernt wie ihr eigener, einer etwa fünfmal...

Auf einen erstaunlichen Zusammenhang stößt eines dieser Wesen namens Kepler, als es sich genauer mit diesen Abständen beschäftigt. Es nimmt von einem beliebigen Planeten die Umlaufzeit in Jahren und bildet dazu das Quadrat. Vom selben Planeten errechnet es den Faktor, um den der Sonnenabstand von dem seines Heimatplaneten abweicht. Zu diesem Wert bildet es den Kubus, nimmt ihn also dreimal mit sich selbst mal. Die Erkenntnis: Für jeden Planeten sind beide Ergebnisse annähernd gleich. Kepler erklärt dieses Wunder als ein Zeichen allmächtiger Harmonie.

Daß nicht Harmonie, sondern eine handfeste Kraft die Planeten auf ihren Bahnen hält, findet erst 70 Jahre später ein Wesen namens Newton heraus: die Anziehungskraft, die zwischen Sonne und Planet wirkt. Ihre Wirkung verringert sich mit dem Abstand der beiden Himmelskörper. Damit ein Planet um die Sonne kreist und nicht in den Weiten des Alls verschwindet, muß die Fliehkraft genau so groß sein wie die Kraft, mit der er von der Sonne angezogen wird. Wie groß seine Fliehkraft ist, hängt von seiner Geschwindigkeit ab. Sie – und damit auch seine Umlaufzeit – muß also zum Abstand passen.

ZEFA

▲ ***Die Leuchtkraft,** mit der das Sonnenlicht die Erde erreicht, ist noch so intensiv, daß man mit ihr Temperaturen wie auf der Sonne erzeugen kann. Man muß die Strahlung dazu allerdings, wie es in diesem Sonnenofen geschieht, mit Tausenden Spiegeln bündeln.*

## Unbekannte Größen

Aufgrund dieser Erkenntnisse läßt sich zwar mit Gewißheit sagen, um wieviel ein Planet näher oder weiter von der Sonne entfernt ist als der Heimatplanet. Angaben in Kilometer findet man so jedoch weder für den Abstand der Planeten voneinander und zur Sonne, noch für die Durchmesser dieser Himmelskörper. Die genaue Größe der Sonne interessiert die forschenden Wesen aber ganz besonders. Wäre sie bekannt, könnten sie sich ein Bild davon machen, welche Kräfte das Feuer auf dem Zentralgestirn in Gang halten. Eine Chance bietet sich, als ihr innerer Nachbarplanet vor der Sonne vorbeizieht. Bei dieser seltenen Konstellation kann man den Planeten wie eine Lochkamera benutzen.

Stellt man einen Gegenstand vor eine Lochkamera, bildet er sich auf der Fotoplatte auf dem Kopf stehend ab. Die Lichtstrahlen von seinem oberen und unteren Ende überkreuzen sich im Loch der Kamera. Er erscheint daher auf der Fotoplatte in Originalgröße, wenn die Platte gerade so weit vom Loch entfernt ist, wie er selbst. Ist sie halb so weit entfernt, erscheint er auch nur halb so groß.

## Sonne als Fotoplatte

Bei der Messung der Sonnengröße ist der Nachbarplanet das Loch der Kamera, zwei Punkte auf ihrem Heimatplaneten, deren Abstand genau bekannt ist, dienen den Wesen als Gegenstand, der abgebildet wird, und die Sonne ist die Fotoplatte. Weil sie das Abstandsverhältnis zwischen Gegenstand, Kamera und Fotoplatte kennen, wissen die Wesen auch, wie viele Kilometer voneinan-

### Kaum zu glauben

**DER LÄNGSTE TAG**
WENN DIE SONNE BESONDERS VIEL GAS AUSSTÖSST, GELANGT EINIGES AUCH IN DIE ATMOSPHÄRE DER ERDE. DAS VERLANGSAMT DIE ERDROTATION GANZ MINIMAL.




Paul Raymonde

der entfernt ihre beiden Punkte auf der Sonne erscheinen müssen. Zwar hat die Sonnenscheibe keine fotografischen Eigenschaften. Indem sie jedoch von den beiden Punkten „durchs Loch" auf die Sonne peilen, können sie die Abbilder ihrer beiden Punkte auf einer Karte der Sonne eintragen. Da die Entfernung der Punkte voneinander bekannt ist, kann man sie als Maßstab für den Durchmesser der Sonne einsetzen. Die

## AUF EINEN BLICK – GIGANTISCHE SONNE

| | |
|---|---|
| Mittler Erdabstand von der Sonne | 149,6 Millionen km |
| Sonnendurchmesser | 1,392 Millionen km |
| Dauer einer Sonnenrotation | 25,4 Tage |
| Masse der Sonne | 332 270 Erdmassen = 1,99mal $10^{33}$ Gramm |
| Dichte der Sonne | 1,41mal so dicht wie Wasser (Erde: 5,52mal so dicht wie Wasser) |
| Dichte im Zentrum | 134mal so dicht wie Wasser |
| Schwerebeschleunigung | 27,9mal so groß wie auf der Erde |
| Volumen | 1,3millionenmal das Erdvolumen |
| Temperatur der Sonnenoberfläche | 5800 Kelvin |
| Temperatur im Sonnenzentrum | 15 Millionen Kelvin |

Dr. Fred Espenak/Science Photo Library

Wesen staunten nicht schlecht, als sie feststellten, daß die Sonne einen Durchmesser von 1,4 Millionen Kilometer hat.

Obwohl diese Messung bereits vor 230 Jahren erfolgte, sind die Forschungen, die die Wesen anstellen, um mehr über den glühenden Energieball im Zentrum ihres Planetensystems zu erfahren, noch nicht abgeschlossen.

Immerhin wissen sie heute, daß ein Stern gar nicht viel kleiner sein darf als ihre Sonne, damit sein Feuer brennen kann. Aus der Größe der Sonne berechneten sie, daß in ihrem Zentrum aufgrund der Schwerkraft ein 220milliardenmal so hoher Druck herrscht wie auf der Oberfläche ihres Planeten und die Temperatur 15 Millionen Kelvin beträgt. Unter diesen extremen Bedingungen zerfallen Atome in Elektronen und Kern. Das aber wiederum ist Voraussetzung dafür, daß im Inneren der Sonne jeweils vier Protonen – Kerne des Elementes Wasserstoff – zu einem Heliumkern verschmelzen und Energie freisetzen.

Winzig kleine Teilchen entfalten in der Sonne also ihre Kräfte. Atomkerne verschmelzen, sie fusionieren, und verwandeln dabei Masse in Energie. 4,2 Millionen Tonnen Sonnenmasse verbrennen so in jeder Sekunde. Doch die Sonne ist so groß, daß sie in den 4,5 Milliarden Jahren ihrer Existenz erst 3 Tausendstel ihrer Masse aufgebraucht hat.



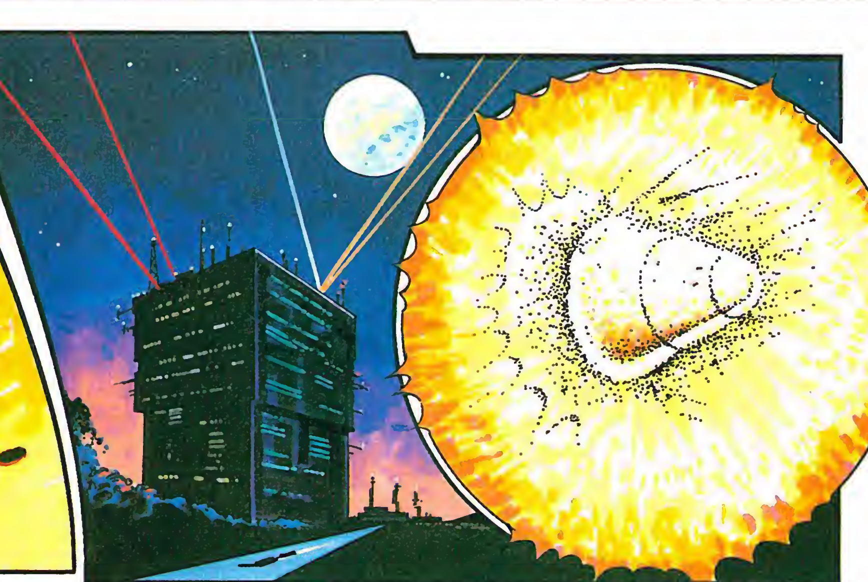
NASA/Science Photo Library

▲ ***Die Korona**, der Lichterkranz um die Sonne, ist normalerweise unsichtbar. Nur bei verfinsterter Sonne tritt er hervor. Seine Leuchtkraft gewinnt er aus Sonnenlicht, das von Elektronen gestreut wird, und leuchtenden Gasen. Rechts: Bilder einer Spezialkamera an Bord des Satelliten Solar Max zeigen, daß die Korona in Bereiche unterschiedlicher Leuchtkraft gegliedert ist.*

## BLICK IN DIE ZUKUNFT – SATELLITEN RICHTUNG SONNE



▲ *Von der Erde werden auch in Zukunft Satelliten ausgesandt, die Sonne zu erkunden. Seit dem 6. Oktober 1990 ist Ulysses mit diesem Ziel unterwegs.*



▲ *Ulysses nahm zunächst Kurs auf Jupiter, um sich von dessen Schwerefeld aus der Ebene der Ekliptik, der Erdbahnebene, hinaustragen zu lassen.*

▲ *Dadurch gelangt er auf eine Bahn, die ihn 1995 und erneut in den Jahren 2000 und 2001 über die Rotationspole der Sonne führen wird, um den Sonnenwind zu erforschen.*

Joe Lawrence

● SCHROTTGESCHOSSE ● KRITISCHE MENGEN ● ABGESEILTE WRACKS

# KOSMISCHE MÜLLABFUHR

**LAUTLOS FINGERT DER ROBOTER nach einem Stück Müll, hält es in den Strahl aus gebündeltem Sonnenlicht, der den sperrigen Schrott in handliche Stücke zerschneidet, und läßt die Teile dann im Bauch des Satelliten verschwinden: So stellen sich amerikanische Wissenschaftler ihren „orbitalen Müllsammler“ im Einsatz vor.**

*Satelliten sind im Orbit ständig in Gefahr, mit Trümmern von älteren Flugkörpern zusammenzustoßen. Über drei Millionen Kilogramm Schrott umkreisen zur Zeit die Erde.*

Seit 1957 der erste Satellit („Sputnik“) von der UdSSR ins All geschossen wurde, haben Forschungsinstitute, Regierungen, das Militär und Privatfirmen über 19 000 Objekte in den Orbit “gehängt”, vom Spionagesatelliten bis zur Raumstation. Mittlerweile sind etwa 12 000 dieser Flugkörper in dichtere Atmosphärenschichten abgestürzt und verglüht. Die übrigen befinden sich noch im Orbit – vor allem in höheren Bahnen, in denen Satelliten nicht atmosphärisch abgebremst werden. Sie sind zum Teil unversehrt oder mit anderen Objekten zusammengestoßen und dabei auseinandergeflogen.

Nach letzten Zählungen der amerikanischen Raketenabwehr kreisen momentan mehr als 7000 Schrottbrocken über unseren Köpfen im Weltall. Die Radarschirme erfassen jedoch nur Objekte über 10 cm Größe. Die Menge kleinerer Teile im Orbit, von 1 mm bis 10 cm, schätzt man auf mehrere hunderttausend.

Am stärksten bedroht von diesem Müll ist die Raumfahrt, denn die Schrottpartikel sausen mit ungefähr zehn Kilometern pro Sekunde

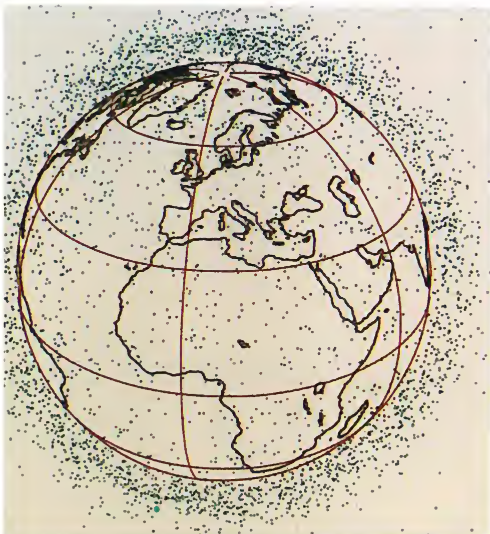
David Weeks





durch die ewige Stille des Alls – viel schneller, als Gewehrkugeln fliegen. Schon für ein millimetergroßes Teilchen wird bei dieser Geschwindigkeit die Außenwand eines Satelliten papierdünn. Beim Aufprall setzt der Krümel die Energie einer Sprengladung TNT mit dem Zwölffachen seines Gewichts frei. Selbst

▼ ***Wie lästige Fliegen*** *umkreisen Schrottpartikel unseren Planeten. Die als Punkte dargestellten Trümmer sind größer als zehn Zentimeter.*



NASA

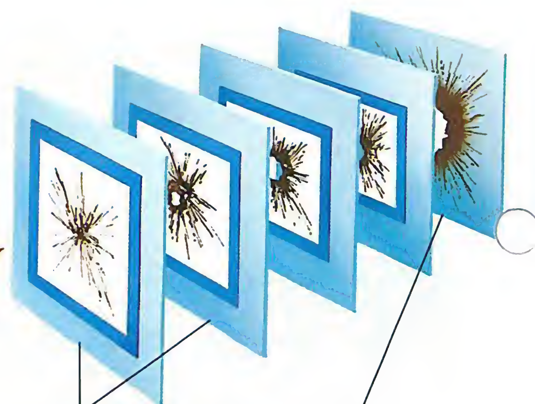
winzigste Teile hinterlassen beim Aufschlagen noch deutliche Spuren. Als man den Satelliten „Solar Max" mit einem Space Shuttle aus dem Weltraum barg, mußte man feststellen, daß einige der Einschläge in seiner Haut von herumfliegenden lächerlich winzigen Eiskristallen stammten: gefrorener Urin von Astronauten, wie man herausfand.

## Trümmergürtel

Wenn der Müll im Orbit nur einzelne Raumschiffe oder Satelliten gefährden würde, wäre die Sache halb so schlimm. Doch die Trümmer im All bedrohen die gesamte Raumfahrt. Wissenschaftlichen

### Schutzschild







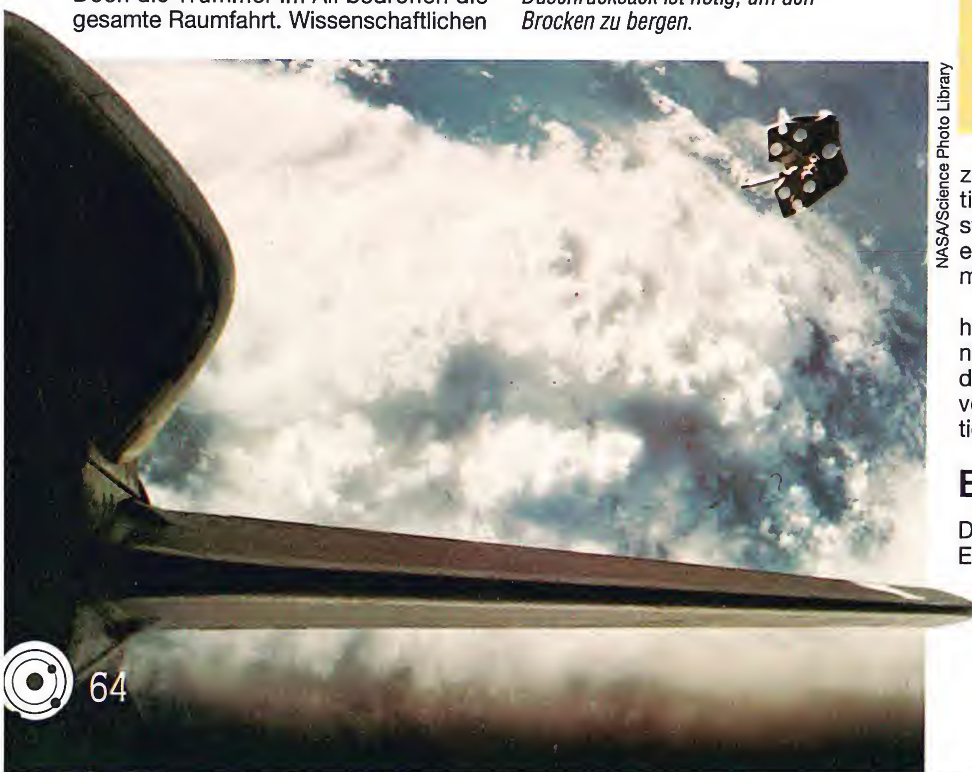
Andrew Shaw

▲ ***Der Schutzschild*** *des Space Shuttle besteht aus Spezialkeramik, die den Aufprall von kleinen Partikeln übersteht, ohne daß Splitter fortfliegen.*

Studien zufolge ist es ab einer gewissen Menge Müll in einer Kreisbahn unvermeidlich, daß auch größere Objekte kollidieren. Das aber würde eine Kettenreaktion auslösen. Lawinenartig nähme die Zahl der Trümmer zu, schließlich würden sie alle großen Flugkörper in der Bahn in Einzelteile zerlegen. Die Folge wäre ein Gürtel von kleinen, rasend schnellen Geschossen, der die Raumfahrt in diesem Höhenbereich über Jahrhunderte unmöglich machte.

Damit bemannte Raumstationen, die sich länger im mit Müll gespickten All aufhalten, nicht wehrlos wie aufgeblasene Luftballons in einer Stecknadelfabrik herumfliegen, erprobt man in den Labors der NASA Außenhüllen. Sie sollen den Aufprall von Trümmern überstehen, ohne daß dabei weiterer Müll in Form von Splitterpartikeln entsteht. Als

▼ ***Eine Fußhalterung*** *für Astronauten hat sich gelöst und droht, außer Reichweite des Shuttles zu treiben. Ein Ausflug mit dem Düsenrucksack ist nötig, um den Brocken zu bergen.*



NASA/Science Photo Library

### VOM MÜLL GEBLENDET

Im All herumfliegende Schrotteile können einen Satelliten selbst dann beschädigen, wenn er nicht mit ihnen zusammenstößt, sondern nur knapp an ihnen vorbeifliegt. Die meisten geostationären Satelliten, die der Erdumdrehung folgen, halten ihre Position mit Hilfe von Sternsensoren. Diese Meßinstrumente regulieren die Lage des Satelliten, indem sie Fixsterne anpeilen. Lichtreflexe auf vorbeifliegendem Müll können diese sensiblen Positionierungsgeräte blenden und völlig durcheinanderbringen. Der Satellit muß dann Positionskorrekturen vornehmen, die auf Kosten des Treibstoffvorrats gehen. Das amerikanische „Hubble Space Telescope" ist deshalb nicht nur mit einem Schutzschild gegen Kollisionen mit Weltraumschrott ausgerüstet. Sein Steuerprogramm enthält außerdem Routinen, mit deren Hilfe er Reflexe vorbeifliegender Trümmer deutlich von den Lichtsignalen der Fixsterne unterscheiden kann.

zweite Schutzmaßnahme für Raumstationen wie die „Alpha" sind Frühwarnsysteme gedacht, die Ausweichmanöver ermöglichen, wenn sich größere Trümmer der Station nähern.

Schutzschilde und Warnsysteme, das hört sich gut an, reicht aber nicht. In einigen „befahrenen" Umlaufbahnen ist die befürchtete kritische Ansammlung von Trümmern, die zu einer Kettenreaktion führen kann, schon fast erreicht.

## Explosionen im All

Damit der rotierende Müllberg um die Erde nicht noch wächst, sind Sofortmaßnahmen zu treffen. Dringend muß man Explosionen im All vermeiden, denn sie sind hauptsäch-

US Air Force/DOD



◀ ***Bei einer Übung*** *wird eine Anti-Satelliten-Rakete (unten) ins All geschossen. Waffentests dieser Art kosten nicht nur Unsummen – sie produzieren auch jede Menge Müll. Als beispielsweise 1984 der „Solwind-Satellit" zerschossen wurde, flogen über dreihundertfünfzigtausend Trümmerstücke auseinander.*

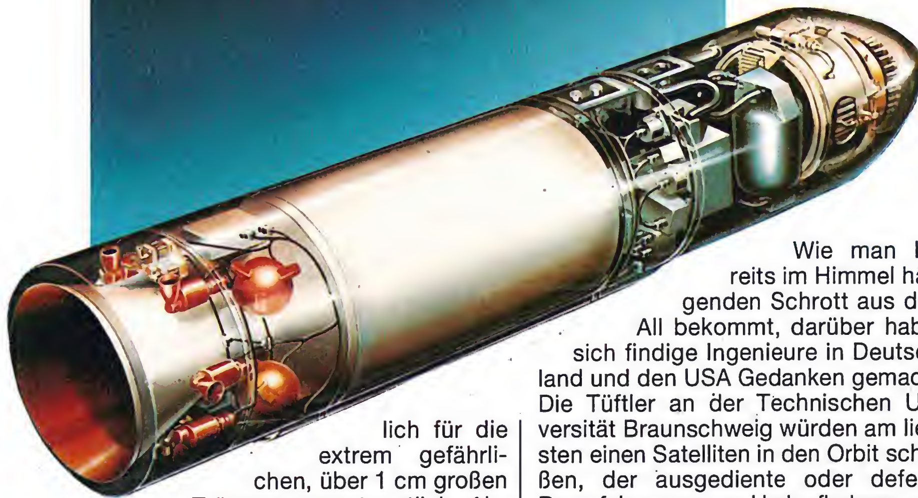
## Kaum zu glauben

**STAUBSAUGEN BITTE!**

4 MILL. TONNEN KOSMISCHER STAUB FALLEN JÄHRLICH ZUR ERDE. WÜRDE DER STAUB, DER BISHER AUF DEN PLANETEN NIEDERGEGANGEN IST, IN 1 STUNDE FALLEN, WÜRDE ER EINE 3 METER HOHE SCHICHT BILDEN!



Paul Raymonde



US Air Force/DOD

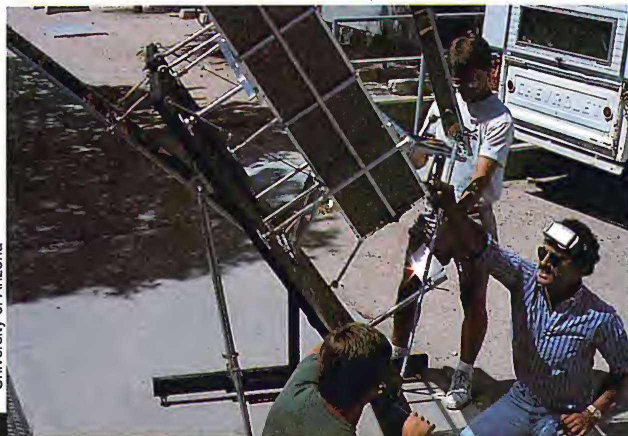
lich für die extrem gefährlichen, über 1 cm großen Trümmer verantwortlich. Absichtliche Explosionen, meist militärische Waffentests, sollten generell verboten werden. Aber auch unabsichtliche Explosionen, häufig durch den Resttreibstoff in abgebrannten Raketenstufen ausgelöst, ließen sich durch Konstruktionsänderungen vermeiden.

Weiterhin muß man dafür sorgen, daß die ausgedienten Satelliten vom Himmel verschwinden. Durch Bremsfallschirme oder -klappen, die auch noch in dünnsten Gasgemischen funktionieren, könnte zukünftig die Bahngeschwindigkeit neuer Satelliten nach ihrem Ableben gedrosselt werden, so daß sie in der Atmosphäre verglühen.

Wie man bereits im Himmel hängenden Schrott aus dem All bekommt, darüber haben sich findige Ingenieure in Deutschland und den USA Gedanken gemacht. Die Tüftler an der Technischen Universität Braunschweig würden am liebsten einen Satelliten in den Orbit schießen, der ausgediente oder defekte Raumfahrzeuge aus Umlaufbahnen zwischen 700 und 1500 km Höhe in dichtere Atmosphärenschichten abseilt.

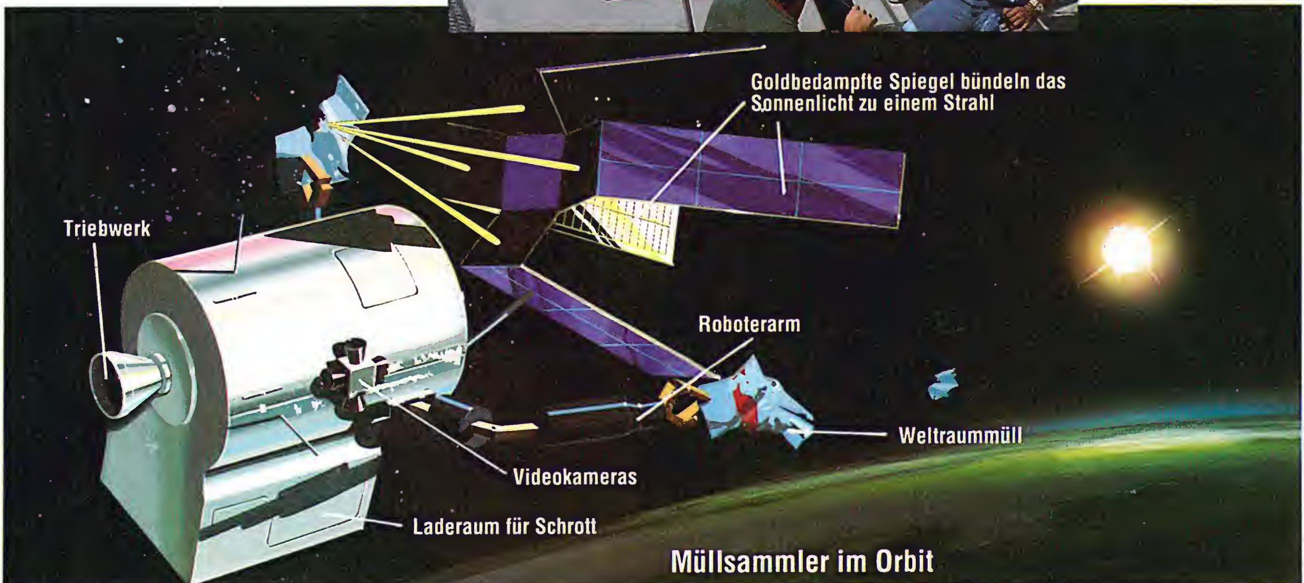
Der Clou an TERESA (Tethered Remover Satellite), dem „Schrottfänger von Braunschweig": Er transportiert die Wracks aus dem Orbit und „lutscht" ihnen dabei noch die letzte Energie aus den morschen Knochen. Seine Raketentriebwerke benötigt er eigentlich nur, um in die Nähe des ersten „toten" Satelliten zu gelangen. Dort klinkt er sich mit einem Seil an den Schrott. Von nun an zehrt TERESA von den elektrodyna-

University of Arizona



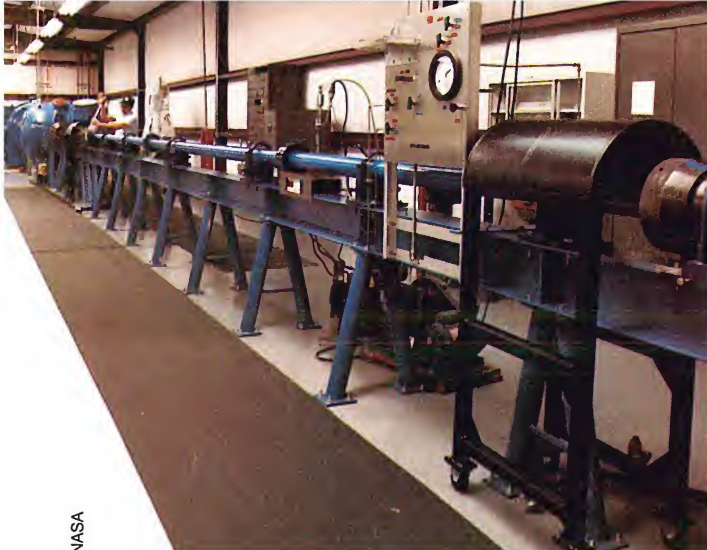
▼ ***Ein „kosmischer Lumpensammler"*** *wird von amerikanischen Wissenschaftlern entwickelt (links). Das unbemannte Raumfahrzeug soll Weltraumschrott im Orbit aufspüren, mit seinen Greifarmen aufsammeln, zerschneiden und im Laderaum verstauen.*

Stan North





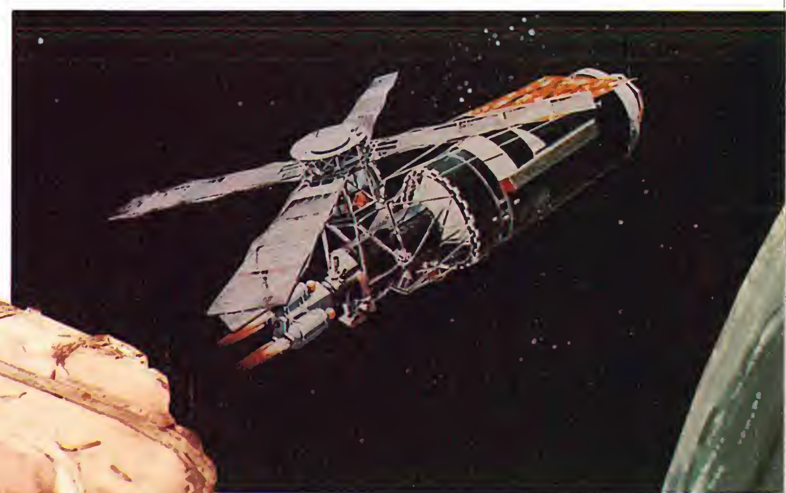



◀ ***Hochgeschwindigkeitskanonen*** *schießen mit komprimiertem Stickstoff Projektile auf eine Materialprobe, um ihre Widerstandsfähigkeit zu testen.*

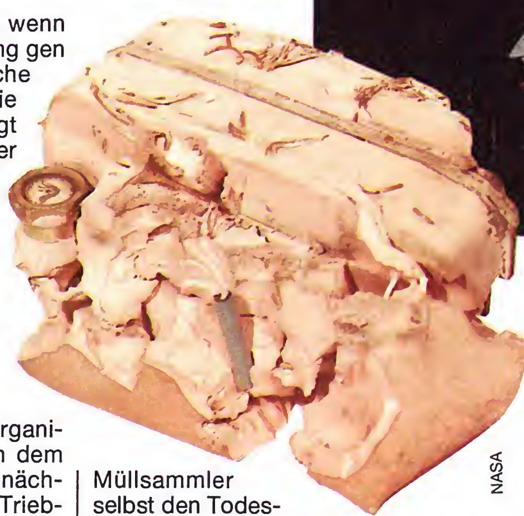
in niedrigeren Kreisbahnen von 400 bis 500 km sammeln.

Der unbemannte Satellit ist mit Radar und Videokameras ausgerüstet, mit denen er den Orbitalschrott aufspüren kann. Roboterarme greifen die Trümmer und laden sie in einen Müllcontainer an der Unterseite des Satelliten. Zu große Stücke werden in 700 °C heißem gebün-



mischen Kräften, die entstehen, wenn das leitende Seil, an dem der Fang gen Erde sinkt, durch das magnetische Kraftfeld der Erde driftet. Die Bahnenergie des Wracks überträgt sich dabei auf den Satelliten. Der Schrott verliert an Höhe, während TERESA aufsteigt. Bei dieser gegenläufigen Bewegung kann das Seil bis zu 120 km weit abrollen. Sobald das Wrackteil ausreichend abgesackt ist, klinkt das Kevlarseil aus. Von der Erde angezogen, stürzt der Schrott ab und verglüht.

Das Andocken, Abseilen, und Ausklinken kann so geschickt organisiert werden, daß TERESA nach dem Ausklinken schon auf Kurs zum nächsten Wrack ist. Die Energie der Triebwerke ist nur noch für Positionskorrekturen beim Rendezvousmanöver notwendig. Der geringe Treibstoffverbrauch soll TERESA befähigen, ungefähr 170 große Schrottbrocken aus dem Orbit zu entfernen; dann vollzieht der überaus fleißige Müllsammler selbst den Todessturz Richtung Erde .



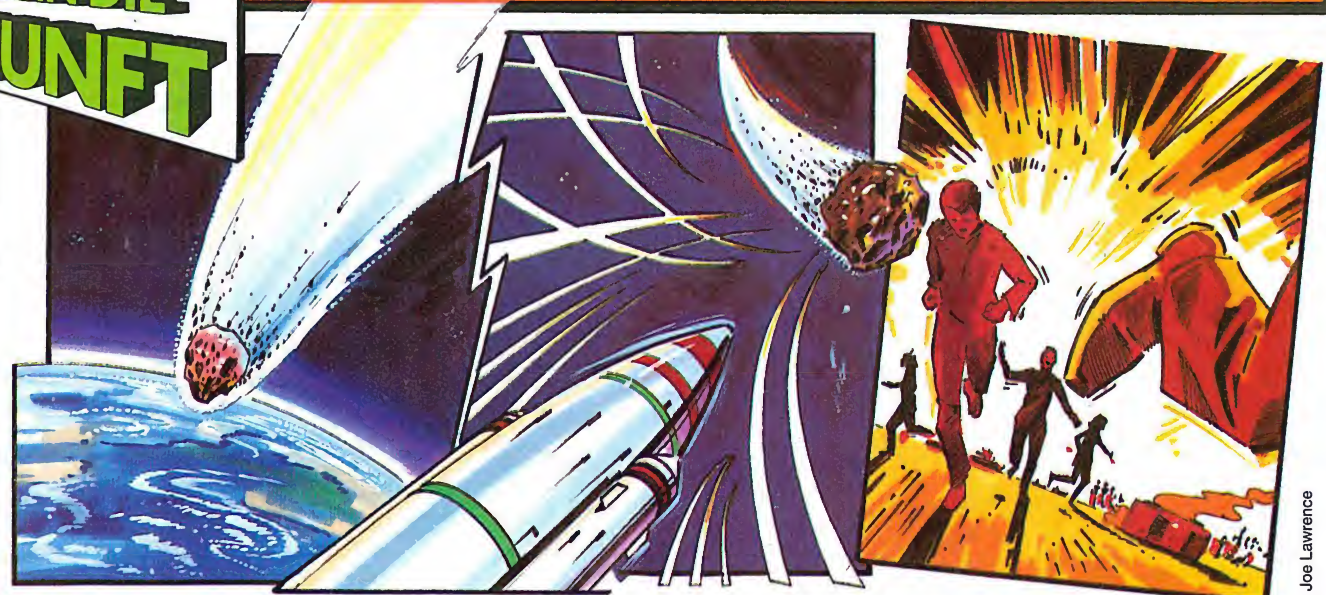

◀ ***Gewaltige Metallklumpen*** *gingen in der Wüste Australiens nieder, als die Raumstation „Skylab" (oben) in der Erdatmosphäre auseinanderbrach.*

An der Universität Arizona, USA, arbeiten Ingenieure an einer anderen Idee, um das Müllproblem im All zu lösen. Ihre orbitale Müllabfuhr ASPOD („Autonomous Space Processor") soll Trümmer delten Sonnenlicht wie von einem Schneidbrenner zerteilt. Das steigende Gewicht läßt ASPOD in seiner Kreisbahn absacken. Mitsamt seiner Last verglüht er in den oberen Atmosphäreschichten.

Ob die Ideen zur Müllbeseitigung im Orbit jemals im All funktionieren werden, steht in den Sternen. Über die Planungsphase sind die Vehikel der Müllpatrouille noch nicht hinaus.

## BLICK IN DIE ZUKUNFT

### WELTEN IM ZUSAMMENSTOSS




▲ *Planetoiden, die die Erdbahn kreuzen, sind eine ständige Bedrohung für unseren Planeten. Man schätzt die Zahl dieser „Earth Crossers" auf 1000, von 60 kennt man die Bahn.*

▲ *Sie in Erdnähe zu sprengen, wäre höchst gefährlich, denn so würde man nur einen unpassierbaren Gürtel von Gesteinsbrocken im Orbit der Erde schaffen.*

▲ *Neuartige Müllsatelliten könnten auch mit Asteroiden fertig werden und sie auf ungefährliche Bahnen bringen, bevor sie als tödliche Meteoriten niedergehen.*

BETONKLÖTZE • FEUERGRUBEN • STAHLSCHILDKRÖTEN

# WELTRAUM BAHNHÖFE

**TOSEND ZÜNDEN DIE BOOSTER. Wird der Start glücken? Alles schaut gespannt auf das Shuttle, das für einen kurzen Moment fast unentschlossen scheint, ob es sich in die Luft erheben soll. Doch nicht nur von ihm hängt der Erfolg der Mission ab. Gigantische Bauwerke am Boden tragen ihren Teil zum Gelingen bei.**

Superlative sind wir von der Raumfahrt gewöhnt. Die höchste Reisegeschwindigkeit eines Menschen, die größte Beschleunigung – all diese Leistungen werden irgendwo weit draußen im All vollbracht. Nur zu leicht vergißt man darüber, daß das, was sich rund um die Raumfahrt am Boden abspielt, kaum weniger beeindruckend ist.

NASA/Science Photo Library

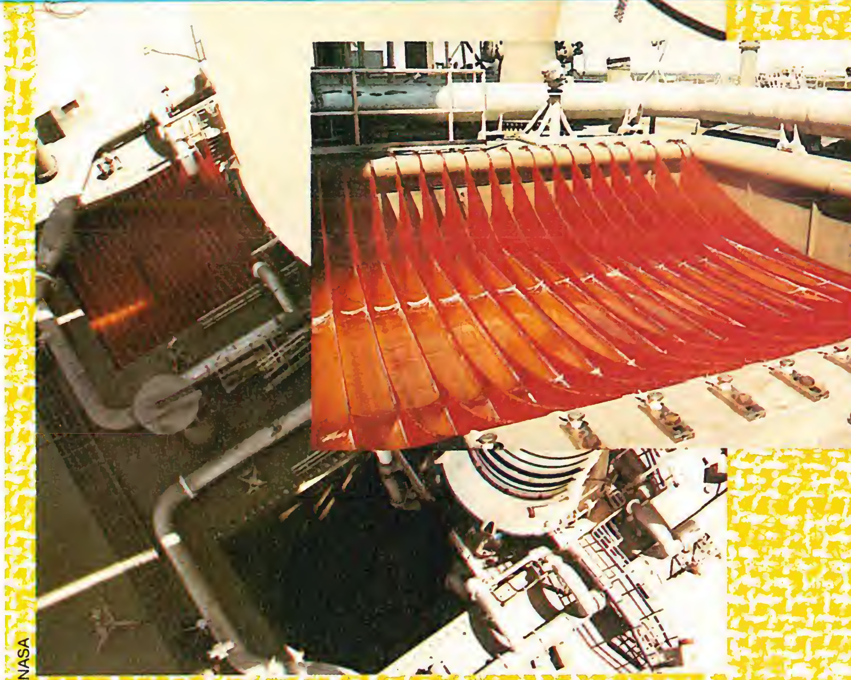
◄ ***Countdown Null:*** *Sprengbolzen haben die Booster aus der Halterung gelöst, die Brücken zum Startturm sind zur Seite geschwenkt. Unter der Rakete verdampfen in wenigen Sekunden 1 Million Liter Wasser.*

NASA

◄ ***Das Shuttle*** *auf der Startplattform. Vorrichtungen am unteren Ende der Booster halten es aufrecht. Über die obere Brücke des Turms wird der Tank mit Wasserstoff und Sauerstoff gefüllt.*








Riesige Bauwerke sind das Kennzeichen eines Weltraumbahnhofs. In Cape Canaveral wurden allein 58 000 Tonnen Stahlbeton verbaut. Größtes Einzelgebäude ist das 1965 fertiggestellte VAB, in dem einst die Saturn-V-Raketen und heute Shuttles montiert werden. Lange Zeit galt es als das geräumigste Gebäude der Welt. Heute wird es von einer Halle des Flugzeugherstellers Boeing in Everett, Washington, übertroffen, die nur 34 m hoch, aber 630 m lang und 492 m breit ist.
Gewaltig sind auch der Lärm und die Hitze, wenn die Verbrennungsgase aus den Triebwerken knallen. Damit keine Vibrationen empfindliche Nutzlasten an Bord des Shuttle beschädigen, versucht man, beim Start soviel Lärm wie möglich zu „vernichten". Während der entscheidenden 20 Sekunden beim Start ergießt sich eine Flutwelle Wasser über den Starttisch – aus einem Tank, der 1,35 Millionen Liter Wasser faßt. Zwischen Leitblechen (links) bildet sich ein „Wasserkissen", das Lärm schluckt und den Rampenbereich kühlt.

Kourou in Französisch-Guayana war lange eine riesige Baustelle. Hier laufen seit Jahren die Vorbereitungen für die neue Europa-Rakete „Ariane 5". Ende 1995 soll der Schwerlasttransporter, der Satelliten bis 6,8 Tonnen ins All tragen kann, zum ersten Mal starten.



David Parker/ESA/Science Photo Library

▶ ***Die Ariane 4** ist derzeit Europas Transporter ins All. Die mit zwei Boostern ausgestattete 42P startete erstmals Ende 1990. Die stärkere Version mit 4 Boostern, die 44L, kann bis zu 4,8 t ins All schießen.*

Eine gigantische Pulverfabrik ragt in den Himmel. Den Treibstoff von weit her zu bringen, wäre viel zu gefährlich. Die explosiven Substanzen werden besser vor Ort „angerührt".

## Tests vor Ort

Wieviel „Dampf" sie in den Boostern machen, wurde bereits auf dem Teststand herausgefunden – ein schlanker Turm, der über einem 40 Meter tief in den Granit geschlagenen Loch errichtet ist. Nichts schützt besser vor Feuer als dieses Gestein.

Die Booster wurden in einem wahren Klotz von Halle auf die Ariane montiert. Die Hallenabmessungen: 60 mal 57 mal 90 Meter. Ein 120 Meter hohes Gebäude überragt die Halle noch. Hier wurde die Rakete zusammengebaut. Damit braucht sich der europäische Weltraumbahnhof vor dem der USA nicht mehr verstecken.

Cape Canaveral, der Startplatz der US-Shuttles, ist zur Zeit noch der imposanteste Startkomplex für Raketen. Er befindet sich in Florida. Sein kolossalstes Gebäude ist das Vehicle Assembly Building (VAB) – die Montagehalle für Raumfahrzeuge, ein 160 m hoher Kasten auf einer Grundfläche von 218 mal 158 Quadratmeter. Stünde die Halle in Ägypten, sie würde die Pyramiden locker in den Schatten stellen.

Vom VAB rollt das Shuttle auf einem massiven Transportblock an den Start. Monströse Raupenfahrzeuge, im NASA-Jargon Riesenschildkröten genannt, brauchen sechs Stunden, um die einige tausend Tonnen schwere Last 6 km weit bis zur Startplattform zu befördern. Die Trasse ist mit Kies ausgelegt. Auf Asphalt oder Beton wäre die Reibungshitze der gewaltigen Ketten selbst bei diesem Schneckentempo zu groß.

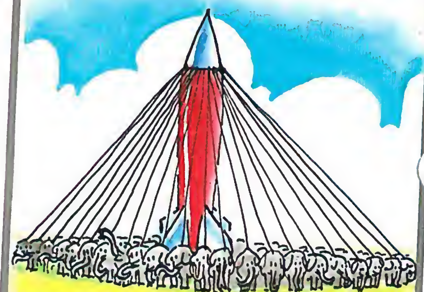
Die Gigantomanie seiner Bauten zeugt jedoch eher von Cape Canaverals großer Vergangenheit, als hier noch 111 Meter hohe Saturn-V-Raketen Apollo-Kapseln zum Mond schossen. Im Hinblick auf die Zukunft hat Kourou die deutlich besseren Karten.

## Bessere Startchancen

Der europäische Weltraumbahnhof liegt näher am Äquator – ein bedeutender Vorteil. Zwar dreht sich jeder Punkt auf der Erdkugel in 24 Stunden um 360 Grad um die Erdachse. Die Strecke, die er dabei zurücklegt, hängt jedoch von seinem Abstand zur Achse ab. An den Polen ist sie gleich Null, am Äquator beträgt sie den vollen Erdumfang. So hat eine Rakete am Äquator schon 1666 Stundenkilometer „auf dem Tacho", bevor sie sich in die Lüfte erhebt. Aufgrund des größeren Abstands zur Erdachse spart ein Start in Kourou 16 % des Treibstoffs, der in Florida nötig wäre.

### Kaum zu glauben

**GANZ SCHÖN BULLIG**
DIE RAUPEN, DIE DAS SHUTTLE ZUR STARTPLATTFORM FAHREN, KÖNNEN 7 MILLIONEN KILOGRAMM ZIEHEN – SOVIEL WIE 10 000 ELEFANTEN TRAGEN KÖNNEN.


Paul Raymonde



# BILDER FÜR ALIENS

**RUND 500 JAHRE IST ES HER, da stieß ein gewisser Columbus, der gerade mit ein paar Sträflingen einen Segeltörn unternahm, fernab der damals üblichen Schiffahrtsrouten unversehens auf eine Insel. Ein Glück für ihn, und ein Volltreffer für die ganze Menschheit, denn das Festland hinter der Insel war ein neuer Kontinent.**

Es scheint, als wollten die Bioastronomen das Glück der Entdecker beschwören. Hatten sie doch den Kolumbustag 1992, den 12. Oktober, zu dem Datum bestimmt, an dem SETI MOP, die „**S**uche nach **E**xtra-**T**errestrischer **I**ntelligenz mit dem **M**ikrowellen-**O**bservations-**P**rojekt" der NASA, beginnen sollte. Seitdem wird das All konzentriert nach Radiosignalen abgesucht, die Hinweise auf Leben außerhalb unseres Sonnensystems geben könnten – nach Botschaften anderer Zivilisationen, die wie wir auf der Suche nach Leben im Universum sind. Das Projekt wird voraussichtlich bis 1998 dauern.

Die Erfolgsaussichten sind gar nicht so schlecht. Schätzt man doch, daß es in unserer Milchstraße zwischen einer Million und einer Milliarde Sterne gibt, die bewohnte Begleiter haben. Es ist also nicht auszuschließen, daß man eine Nachricht aufschnappt. Aber wird sie uns etwas sagen? Wer soll sie übersetzen? Das gibt es schließlich noch nicht einmal auf der Erde: eine Sprache, die alle Menschen verstehen!



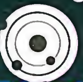
*Voyager 2 vor Uranus, auf dem Weg, unser Sonnensytem zu verlassen; an Bord eine Platte mit Bildern und Klängen von der Erde, dazu das passende Abspielsystem. Doch wird je eine fremde Intelligenz Voyager entdecken?*

Julian Baum/Science Photo Library



NASA/Science Photo Library

▲ *Jupiter: Die faszinierenden Fotos, die Voyager 1 und 2 von Planeten und Monden schossen, zeigen lebensfeindliche Orte. Lebensformen, mit denen wir kommunizieren können, werden wir bestenfalls außerhalb unseres Sonnensystems finden.*



## DAS GESICHT AUF DEM MARS

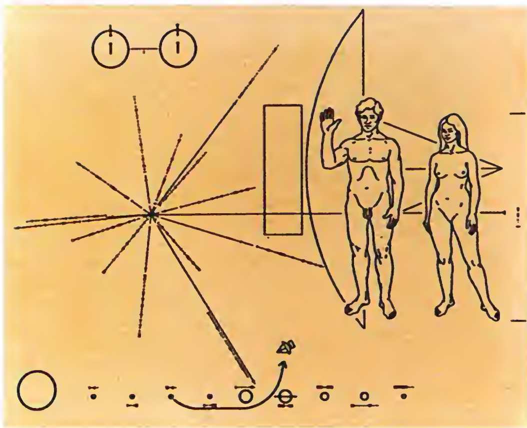
Als 1976 Wissenschaftler die Marsfotos der Sonde Viking betrachteten, schienen sie auf eine Sensation gestoßen zu sein: ein gigantisches, über drei Kilometer langes menschliches Gesicht im roten Sand der Marswüste, geformt aus Kratern und Felsen! Handelte es sich um das letzte Zeichen einer untergegangenen Kultur? Wahrscheinlich nein! Man braucht sich nur an einem Sommertag auf die Wiese legen und 5 Minuten in die Wolken schauen. Wer da nicht mindestens zehn Gesichter sieht, leidet an Phantasiemangel. Was sollte bei einem Blick auf die ebenso „wahllose" Marsoberfläche anders sein? Sie ist Stein gewordener Zufall.



NASA/Science Photo Library

Vielleicht gibt es sie doch: die Kunst. Felszeichnungen aus der Steinzeit, Leonardos Mona Lisa, Warhols Marilyn Monroe – diesen Kunstwerken stehen wir keineswegs verständnislos gegenüber, obwohl wir mit ihren Erschaffern kein einziges Wort gewechselt haben.

NASA



„Fauler Zauber!" mögen Zweifler einwenden. „Bilder von Menschen und Tieren zu deuten, das ist für einen Menschen natürlich keine Kunst. Aber was kann jemand mit diesen Kunstwerken anfangen, der nie ein menschliches Gesicht oder auch nur ein Tier gesehen hat?" Doch das ist ein Scheinproblem.

Aliens können jedem etwas Nachvollziehbares mitteilen, der ihre Nachricht abhört: beispielsweise einen Bauplan der Maschine, mit der sie die Botschaft ins All gesendet haben. Schließlich weiß jeder, der – wie wir mit SETI MOP – nach elektromagnetischen Wellen sucht, wie man diese Wellen erzeugt und als Träger von Botschaften moduliert. Wer also auf die Idee kommt, Botschaften per Radiowellen ins All zu senden, sollte auch beschreiben, wie man den passenden Sender zur Rückantwort herstellt, also eine Botschaft mit eingebauter Erfolgskontrolle.

◀ ***Diese Metallplakette,*** *eine goldbeschichtete Aluminiumscheibe, ist die erste „Grußbotschaft" der Erde an fremde Intelligenzen, die mit der Raumsonde Pioneer 10 unser Sonnensystem verlassen hat. Ob ihr Inhalt Außerirdischen mehr Aufschluß über uns Menschen geben kann als die Sonde, an der die Scheibe befestigt ist, darf getrost bezweifelt werden.*

Selbst wenn man damit schon eine heiße Spur hat, worauf sich der Inhalt einer außerirdischen Botschaft beziehen könnte, bedarf es noch etlicher Arbeitsstunden von Sprachwissenschaftlern und der Intuition von Künstlern, um die Botschaft zu entschlüsseln. Bei dieser Arbeit wären Künstler schon deswegen gefragt, weil sie Experten darin sind, Ideen Gestalt zu geben.

## Licht-Post

Noch wichtiger wären Künstler beim Verfassen der Antwort. Nachdem sie den Symbolgehalt der Zeichen aus einer fremden Welt ausgelotet haben, würden sie nun diese Zeichen selbst benutzen, und es könnte sich ein „Briefwechsel" mit den Aliens entspinnen – wäre da nicht ein anderes Problem.

Sicher ist, daß eine Botschaft aus dem All auf ihrem Weg zu uns ganz schön altert. Sie reist mit Lichtgeschwindigkeit. Für jedes Lichtjahr, daß zwischen uns und ihrem Absender liegt, braucht sie exakt ein Jahr. Wäre sie also sagen wir 1000 Jahre unterwegs, dann könnten wir zwar antworten. Wir müßten aber damit rechnen, daß sich nach 2000 Jahren nur der kosmische Briefträger bei uns meldet: „Sorry, Ihre Botschaft war leider nicht zustellbar – Empfänger unbekannt verzogen."

## BLICK IN DIE ZUKUNFT

## DIE KUNST VON ÜBERMORGEN



▲ *Wenn uns Aliens mitteilen können, wie man einen Sender baut, könnten sie uns auch andere nette Maschinchen als Bastelbogen zur Erde schicken.*



▲ *Vielleicht wäre ein Gerät dabei, mit dem man die Radiosignale der Außerirdischen in Bilder übersetzen kann, die uns ihr Leben in einer fernen Welt näherbringen.*



▲ *Damit wäre der Grundstein gelegt für interstellares Fernsehprogramm, bei dem die Nachrichten allerdings immer schon ein paar „Lichtjahre" alt wären.*

Joe Lawrence

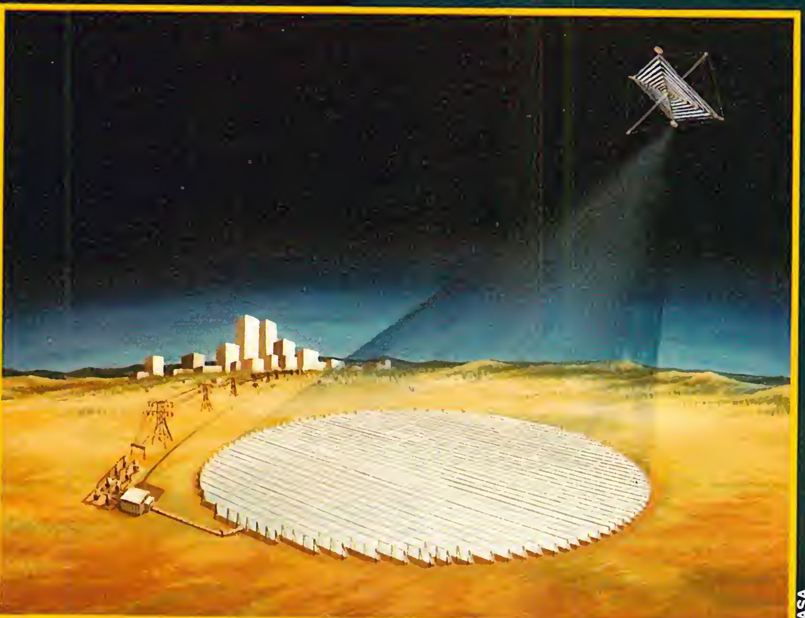
# STROM AUS DEM ORBIT

*Solarzellen arbeiten im Orbit effektiver, weil nichts die Strahlung filtert. Von 1,37 kW senkrecht einstrahlender Sonnenenergie je m² im Orbit erreichen nur 0,7 kW den Erdboden.*

**ENERGIE AUS DEM NICHTS gewinnen, das kann der Mensch nicht. Doch vielleicht gelingt es ihm bald, die Energie, die er braucht, im Nichts einzuheimsen.**

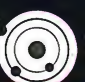
Es gibt Energien, deren Umwandlung in elektrischen Strom die Umwelt stark belastet, und solche, die der Natur weniger schaden. Ganz ohne Einfluß auf die Umwelt Energie gewinnen, das kann der Mensch jedoch nicht. Er kann höchstens Quellen anzapfen, die so unerschöpflich sprudeln, daß es kaum auffällt, wenn er sich einen Teil nimmt.

Ein für menschliche Verhältnisse schier unerschöpflicher Energiespender ist die Sonne. Auf die Erde trifft mit ihrer Strahlung Jahr für Jahr 15 000mal soviel Energie, wie die Menschheit im selben Zeitraum verbraucht. Nicht schlecht, zumal es mit Solarzellen, Sonnenkollektoren und -öfen auch Möglichkeiten gibt, diese Energie ein-


NASA

*Für den Energietransport zur Erde bieten sich Mikrowellen an, die Wolken problemlos durchdringen. Die Empfangsanlagen am Erdboden kommen mit wenig Fläche aus.*





zufangen und technisch nutzbar zu machen. Da fragt man sich, warum die Menschheit nicht längst auf Strom aus Sonnenenergie umgestiegen ist.

Meist werden die hohen Kosten ins Feld geführt – eine nicht ganz astreine Begründung. Müßten die Stromerzeuger die Kosten für Reparaturmaßnahmen an der Umwelt, die durch die traditionelle Energiewirtschaft fällig werden, voll übernehmen, wäre Solarenergie deutlich der billigste Stromlieferant.

Das bedeutet aber noch nicht, daß diese Stromerzeugung in der Umwelt keine Spuren hinterließe. So hat man ausgerechnet, daß ein Park aus Solarzellen, der die Leistung eines gewöhnlichen Kraftwerks liefert, eine Fläche von 180 $km^2$ bräuchte, so viel wie eine ganze Stadt. Zwar könnte man einen Teil der Solarzellen auf Hausdächern unterbringen, und der Wirkungsgrad von Solarzellen ließe sich noch verbessern – nur etwa 15 % des Lichts können sie bislang in Strom ummünzen. Doch Tatsache bleibt: Wollten wir unseren „Energiehunger" allein mit Solarstrom stillen, kostete das zu viel Fläche.

Am besten wäre es, wenn sich die Fläche der Erde vergrößern ließe. Unmöglich? Mit einem Taschenspielertrick klappt auch das: Man hängt einfach Solarzellen in den Orbit. Von Raumsonden weiß man, sie funktionieren dort oben tadellos. Photonen, Sonnenlichtteilchen, schlagen Elektronen aus einer Halbleiterschicht, über einen Draht fließen sie zurück und verrichten dabei Arbeit.

## Kaum zu glauben

**FLOTTES LÜFTCHEN**

DER SONNENWIND BLÄST MIT RUND 500 KM/SEKUNDE INS ALL. GEGEN EIN RAUMSCHIFF, DAS IHN ALS ANTRIEB NUTZT, WÄRE DAS SHUTTLE EIN LAHMER OLDTIMER.



Paul Raymonde




David A.Hardy/SPL

▲ ***Photonen,*** *Lichtpartikel, sind nicht das einzige, was die Sonne aussendet. Pro Sekunde bläst sie auch 1 Million Tonnen Teilchen ins All, Elektronen, Protonen und Heliumkerne: den Sonnenwind. Raumyachten (rechts), die im Sonnenwind segeln, sind noch Zukunftsmusik.*

Cambridge Consultants

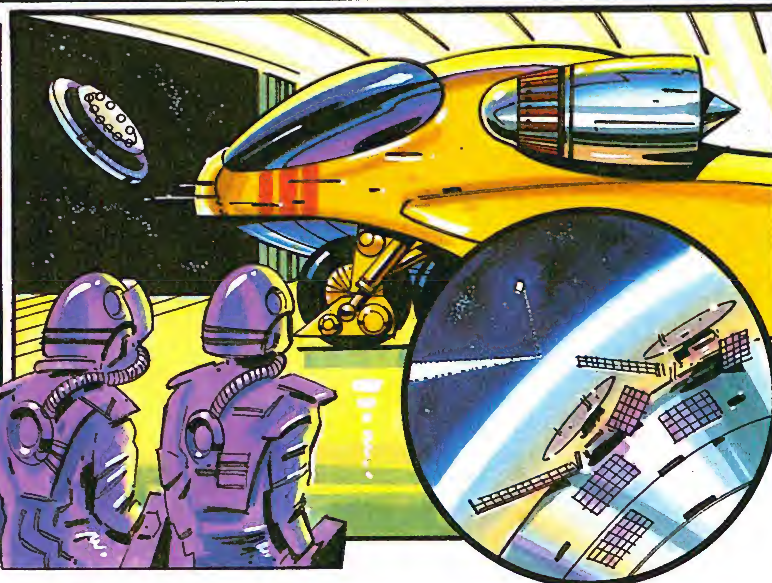
## Gebündelte Energie

Wie der Energietransport zur Erde zu bewerkstelligen ist, müßte noch genauer erforscht werden. Möglich wäre es, die Energie gebündelt als Radarstrahl, der jede Wolkendecke mühelos durchdringt, zur Erde zu „beamen". Die Empfangsstationen auf der Erde wären im Vergleich zu Sonnenfarmen nur sehr klein, doch die Radarstrahlen wären auch gefährlich. Vögel, die in sie hineinflögen, würden wie in einer Mikrowelle „gegrillt".

## BLICK IN DIE ZUKUNFT

WELTRAUMENERGIE





▲ *Solarzellen funktionieren ohne bewegliche Teile, daher werden an diesen modernen Stromerzeugern nur sehr selten Wartungsarbeiten fällig: Ideal für den Weltraum.*

▲ *Ab und an werden dennoch Ausflüge zum Kraftwerk und Kurskorrekturen nötig sein, denn die Partikel des Sonnenwindes bremsen es allmählich ab.*

▲ *Besonders schützen müßte man die Solarzellen überdies gegen kosmischen Staub und Raummüll, denn sonst käme man aus dem Reparieren nicht mehr heraus.*

Joe Lawrence



# URZEIT WELTEN

**DIE WÜSTEN UNSERER ERDE sind lebensfreundliche Paradiese, wenn man sie mit den Landschaften vergleicht, die man auf den übrigen Planeten und den Monden unseres Sonnensystems vorfindet. Lebewesen, zumindest solche, wie wir sie von der Erde kennen, hätten dort keine Chance, denn diese Himmelskörper haben eine völlig andere Entwicklungsgeschichte durchlaufen.**



*◄ Venus wirkt auf dem Foto der 1982 gelandeten Sonde Venus-13 wenig einladend. Auch der mit dem Radioteleskop von Arecibo gewonnene Überblick (großes Bild) zeigt nur öde Welten. Interessant an ihnen: Sie sind nur 400 Millionen Jahre alt.*

Novosti/SP

Wenn man die neun Planeten unseres Sonnensystems betrachtet, kann man sich kaum vorstellen, daß sie alle zur gleichen Zeit aus ein und derselben Materiewolke hervorgegangen sein sollen – dieselbe, aus der sich vor rund 4,5 Milliarden Jahren auch die Sonne herausbildete. Zu unterschiedlich erscheinen sie uns. Die vier sonnennächsten Planeten sind verhältnismäßig kleine Brocken aus Stein. Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun hingegen schweben als riesige Gasbälle durchs Vakuum.

Dennoch gibt es Indizien, die uns geradezu zwingen anzunehmen, daß alle Planeten Geschwister und gleich alt sind. Alle neun drehen sich im gleichen Sinne um die Sonne, und die Bahnen, die sie dabei beschreiben, liegen mit auffällig geringen Abweichungen – nur der Außenseiter Pluto tanzt aus der Reihe – in einer Ebene. Es sieht ganz so aus, als wenn die Bahnen der Planeten noch heute das Gebiet umschreiben, das vor rund 4,5 Milliarden Jahren die um die Sonne rotierende Materiewolke einnahm.

Planetensysteme im Werden glauben Astronomen inzwischen auch mit eigenen Augen gesehen zu haben. Auf Fotografien des jungen Sterns Beta pictoris im Sternbild Maler, die mit einem 2,5-m-Reflektor von Chile aus aufgenommen wurden, erkennt man zum Beispiel eine flache, etwa 300 Milliarden Kilometer durchmessende Materiescheibe.

## Eine kosmische Familie

Möglicherweise haben sich die Planeten unseres Sonnensystems nicht immer so stark voneinander unterschieden. Wenn sie sich zur gleichen Zeit wie die Sonne bildeten, so besteht wenig Anlaß zu glauben, daß die Zusammenballungen der Wolke nahe dem Zentrum andere Bestandteile enthielten als am Rand der Materiescheibe. Auch die vier inneren Planeten wären in ihrer frühesten Jugend demnach Gasriesen gewesen, und erst als die Kernverschmelzungsprozesse im Inneren der Sonne einsetzten, änderte sich die Sache.

Als der Fusionsreaktor Sonne seinen Betrieb aufnahm, war der Sonnenwind ein Orkan im Vergleich zu dem, was unser Zentralgestirn jetzt ins All bläst. Er könnte durchaus so stark gewesen sein, daß er Merkur, Venus, Erde und Mars, die sich in bedrohlicher Nähe des Feuerballs befanden, kurzerhand die Gashüllen von den „Rippen" blies. Von ihnen blieben nur feste Gesteinskerne übrig,

US Geological Survey/NASA/Science Photo Library





wie man sie auch im Inneren der Gasriesen vermutet. Im Bereich der äußeren Planeten dürfte der Sonnenwind nicht mehr genügend Puste gehabt haben.

Sollte die Sonne ihr Feuer schon entfacht haben, bevor einzelne Planeten aus der Materiewolke entstanden, könnte ihr stürmischer Teilchenwind bereits in der Wolke aufgeräumt haben. Doch auch das würde bedeuten, daß alle Planeten gleichen Ursprungs sind und nicht etwa einer von ihnen nur ein Stiefbruder ist, der durch irgendeinen kosmischen Umstand erst später zur Familie stieß.

Die Monde der Planeten dürften, sofern sie keine eingefangenen Planetoiden sind, auf ähnliche Weise entstanden sein. Die Ringe um die Gasriesen kann man als Überreste von Materiewolken um diese Planeten deuten.

Die Frage nach der Herkunft der ungleichen Brüder ist grundlegend für die Beschäftigung mit vielerlei Rätseln des Universums. Wer etwa abschätzen will, wie wahrscheinlich es ist, daß es außerhalb des Sonnensystems intelligentes Leben gibt, der muß einiges darüber wissen, wie Planetensysteme entstehen. Solange Planeten anderer Sonnen seinem Auge verborgen bleiben, kann er nur das unsere näher in Augenschein nehmen und herauszufinden versuchen, ob er irgendetwas entdeckt, das auf Unregelmäßigkeiten bei der Genese von Sonne und Planeten hindeutet. Fände jemand Anzeichen dafür, daß auch nur einer der Brüder unserer Erde ein „Zugereister" sein könnte, dann würde diese Nachricht alle Astronomen der Welt im Nu in helle Aufregung versetzen.

Die Ankunft eines Brockens in Planetengröße mitten im Sonnensystem wäre in der Tat ein Ereignis gewesen, das Auswirkungen auf das gesamte Gefüge des Planetensystems gehabt hätte. Von einer regulären Entwicklung könnte keine Rede sein, und die Entstehung von Leben wäre möglicherweise ein seltener Zufall und nur auf diese schwerwiegende Störung zurückzuführen. Der Ablauf jedoch, den man heute als wahrscheinlich annimmt, könnte so wie um unsere Sonne um jeden anderen vergleichbaren Himmelskörper erfolgt sein – ohne daß exotische Zutaten für die Entstehung von Leben gesucht werden müßten.

## Sonnenaktivität

Aber auch für die Klärung zahlreicher anderer Fragen ist es entscheidend zu wissen, ob alle Planeten ihren Platz im Kosmos schon seit dem Beginn ihrer Existenz einnehmen. Um zu erforschen, welche Bedingungen im Sonnensystem vor ein, zwei oder drei Milliarden Jahren vorherrschten, kann man sich mit der Sonne selbst beschäftigen. Man kennt ihren Energiehaushalt inzwischen recht gut und kann errechnen, wie produktiv sie in früheren Zeiten gewesen ist.

Auch liegen den Astronomen heutzutage recht verläßliche Daten über ferne Sonnen vor. Weil man inzwischen das Lichtspektrum etlicher Sterne untersucht hat, weiß man, wie der Werdegang von Sternen unterschiedlicher Größen aussieht. Die Farbigkeit des Sternenlichts ist charakteristisch für die Prozesse, die in einem Stern ablaufen.

Ein weiteres lohnendes Untersuchungsobjekt für die Forscher, die sich intensiv mit der Entstehungsgeschichte von Himmelskörpern befassen, ist alles das, was unsere Sonne umkreist. Da man davon ausgehen kann, daß zumindest die größeren Objekte seit Beginn ihrer Existenz unbeirrt ihre Bahnen ziehen, kann ihr jetziger Zustand letztlich nur das Ergebnis der Einflüsse sein, die gerade in diesem Bereich des Sonnensystems herrschten. Jede Narbe, die das Gesicht eines Planeten zeigt, kann wichtige Aufschlüsse über die Geschichte unseres Sonnensystems geben.

Wo der Laie selbst beim Blick durchs größte Fernrohr



Julian Baum/Science Photo Library

▲ ***Uranus*** *geht über einer Eiswüste seines Mondes Miranda auf. Das Gemälde zeigt den Uranus-Ring von der Kante, denn der Mond liegt in derselben Ebene.*



US Geological Survey/Science Photo Library

▼ ***Ein Canyon*** *auf dem Mars: Wasser muß ihn vor Ewigkeiten durch die Wüste der Äquatorregion gegraben haben.*



NASA/Science Photo Library

JPL/NASA

► ***Io,*** *der innerste der vier großen Jupitermonde. Auch seine Oberfläche dürfte noch ziemlich jung sein, denn auf Io gibt es aktive Vulkane.*

### DER AUSSENSEITER

Pluto scheint überhaupt nicht zu seinen Nachbarn, den Gasriesen, zu passen. Er ist kleiner als der Erdmond und bewegt sich auf einer geradezu chaotischen Bahn um die Sonne, steiler als alle anderen Planeten und so stark elliptisch, daß er zeitweise der Sonne näher steht als Neptun. Als mögliche Erklärung für das Vorhandensein dieses Außenseiters wurde lange Zeit gehandelt, daß er ein „ausgekniffener" Neptunmond sei. Wie er dann jedoch zu Charon, seinem eigenen Satelliten gekommen sein soll, ist damit kaum zu erklären. Wahrscheinlicher ist, daß er mehr mit Kometen als mit den übrigen Planeten gemein hat. Um mehr über diesen fernen Verwandten zu erfahren, wird man wohl erst Sonden zu ihm senden müssen.



▲ ***Die Erde** verdankt es vor allem ihrer schützenden Atmosphäre, daß sie kein Wüstenplanet wie ihre „Brüder“ ist.*

Hasler & Pierce/NASA, GSFC/SPL

nur karge Landschaften sieht, gegen die irdische Wüsten geradezu ein Schlaraffenland sind, entdecken Astronomen zahllose Details, die ihr Forscherherz höher schlagen lassen. Am gründlichsten haben sie bisher die Oberflächen von Merkur, Mars und dem Erdmond erforscht, denn von diesen Himmelskörpern liegen ihnen schon am längsten Aufnahmen in hoher Auflösung und zum Teil sogar Bodenproben vor.



▶ ***Der Erdmond** ist von Kratern übersät. Die Formung der Oberfläche ist, abgesehen von den Treffern aus dem All, seit rund 3 Milliarden Jahren abgeschlossen.*

NASA/Science Photo Library

## Zum Verwechseln ähnlich

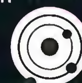
Weil die „Gesichter“ von Merkur, Mars und Mond auf den ersten Blick einander zum Verwechseln ähneln, haben die Wissenschaftler ein feines Instrumentarium entwickeln müssen, um aussagekräftige Unterschiede in den Oberflächen dieser Himmelskörper auszumachen. In einem ersten Schritt ging es zunächst darum, das Alter der Formationen der drei Gesteinskugeln zu bestimmen.

Dieses Stadium der Forschung wird vielfach mit dem Begriff „Krater zählen“ umschrieben, der jedoch die geleistete Arbeit kaum angemessen würdigt. Schließlich ging es nicht nur darum, die Spuren von Meteoriteneinschlägen auf den drei Himmelskörpern zu zählen, um dann messerscharf zu schließen: Je mehr Trichter sich auf einem Gebiet finden, desto länger liegt es ohne den Einfluß anderer formender Kräfte bloß. Zu schlüssigen Aussagen kommt man so einfach natürlich nicht.

Man muß möglichst genau wissen, wie viele Brocken an den unterschiedlichen Orten des Sonnensystems umherschwirren und ob die Dichte dieser Geschosse vor Milliarden Jahren eine andere war als heute. Da man den Asteroidengürtel zwischen Mars und Jupiter als Ursprungsort der meisten von ihnen annimmt, geht man davon aus, daß ihre Dichte im Laufe der Jahrmilliarden abgenommen hat – viele Planetoiden sind mit anderen Himmelskörpern kollidiert, und neue haben sich seit Existenz des Sonnensystems nicht gebildet, ihre Zahl kann also nur geringer geworden sein. Weiterhin nimmt man an, daß um so mehr Gesteinsbrocken sich auf Kollisionskurs mit einem Himmelskörper befinden, je näher er am Asteroidengürtel liegt.

Auch muß man wissen, welche Spuren für kosmische Geschosse verschiedener Größe typisch sind, um





Antworten auf viele Fragen zu finden. Gibt es etwa Anzeichen dafür, daß ehemals eine Atmosphäre den Himmelskörper vor Treffern schützte oder Winde die Krater schliffen? Trat im Gefolge der Treffer etwa eine verstärkte vulkanische Tätigkeit auf, wie man es heute für die Venus annimmt? Das wiederum kann Aufschluß darüber geben, wie weit der Himmelskörper bereits ausgekühlt war, als der Treffer erfolgte, da mit der Auskühlung auch die Stärke der Planetenkruste wächst.

Inzwischen erlauben es die Forschungen, recht genaue Marksteine in der Planetengeschichte zu setzen. Zu den wichtigsten Ergebnisse gehört, daß die Ausbildung der Merkuroberfläche bereits seit 3,9 Milliarden Jahren abgeschlossen ist, während auf dem Mond seit 3,3 Milliarden Jahren keine Kräfte mehr wirken, die Gebirge auffalten. Beim Mond stimmen die Werte bestens mit denen überein, die man durch die Untersuchung von Mondgestein ermittelte. Nach Messung der im Gestein enthaltenen radioaktiven Isotope ist es zwischen 4,5 und 3,1 Milliarden Jahre alt.

Der Werdegang des Mars, so haben die Forschungen ergeben, weicht stark von dem des Mondes und des Merkur ab. Zwar gibt es auf ihm auch Gebiete, in denen sich innerhalb der letzten 3,8 Milliarden Jahre geologisch nicht mehr allzu viel getan hat. Die kraterübersäten Hochländer, die auf der Südhalbkugel des roten Planeten dominieren, sind die am längsten „toten" Gebiete, und die kraterarmen Tiefebenen des Nordens haben schon 3,5 Milliarden Jahre auf dem Buckel. Doch es gibt auch jüngere Formationen auf dem Mars. Heftige Vulkantätigkeit, aber auch Wasser, das einst in großen Strömen geflossen sein muß, sorgten dafür, daß Teile der Marsoberfläche noch bis vor 1,5 Millionen Jahren Veränderungen unterlagen. Damit sind die jüngsten Formationen des Mars so alt wie die ältesten auf der Erde.

◀ ***Viking 2*** *im Jahre 1976 im Utopia Planitia auf dem Mars. Formende Kräfte wirken hier schon über 3 Milliarden Jahre nicht mehr; nur die Erosion durch Staubstürme und Temperatursprünge zwischen Tag und Nacht wirken auf das Gestein.*

NASA/Science Photo Library

Obwohl man den Mars zu Recht als Wüstenplaneten bezeichnen kann, ist seine Oberfläche doch so abwechslungsreich, daß sich die Entsendung weiterer Sonden empfiehlt.




Paul Raymonde

## Wüsten im Vergleich

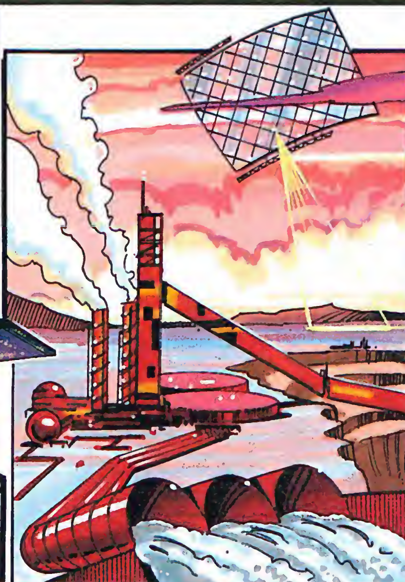
Die Untersuchung seiner Wüsten vor Ort dürfte Erkenntnisse bringen, die auch der Deutung der Voyager-Bilder von den Monden der Gasriesen dienen können. Und sicher wären sie auch eine gute Hilfe, wenn es darum geht, die Geheimnisse der erst seit einem Jahr näher bekannten Wüsten der Venus zu ergründen – eine faszinierende Aufgabe, kann man sich hier doch auf größere Überraschungen gefaßt machen. Die ersten Analysen der Bilder, die uns der Magellan-Orbiter geliefert hat, deuten darauf hin, daß die Venus-Oberfläche sensationell jung ist: im Durchschnitt nur 400 Millionen Jahre.

## BLICK IN DIE ZUKUNFT

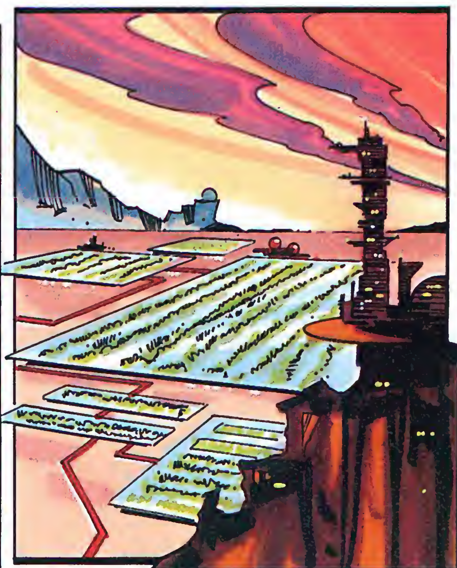
### LEBEN AUF DEM MARS



▲ *Obwohl der Mars heute eine Wüste ist, könnte man ihn „reaktivieren". Wasser ist in den Eiskappen der Pole gebunden. Man könnte es zum Schmelzen bringen.*



▲ *Ließe man dunklen Gesteinsstaub auf die Polkappen hinabregnen, würde das Wasser frei, und man könnte es zur Bewässerung seiner Wüstenregionen nutzen.*



▲ *Dadurch würde auf dem roten Planeten Landwirtschaft möglich, eine der Grundvoraussetzungen für Besiedelung des Mars durch den Menschen.*

Joe Lawrence

● APFELPLANETEN ● VENUSDURCHGÄNGE ● VERDUNKELUNGEN

# BAHNEN AM HIMMEL

NASA

**BESTÄNDIG SEIT EWIGKEITEN drehen sich die Erde und die übrigen Planeten um die Sonne, und ebenfalls bereits seit Menschengedenken umkreist der Mond die Erde. Man sollte also meinen, daß den Menschen die Bewegungen der Himmelskörper am Firmament bestens vertraut sind – doch dem ist keineswegs so.**

***▲ Die Erdrotation bewirkt, daß auf Langzeitfotos die Sterne als Kreisbögen erscheinen. Um sie punktförmig abzubilden, muß eine Elektronik das Teleskop (rechts) nachführen.***

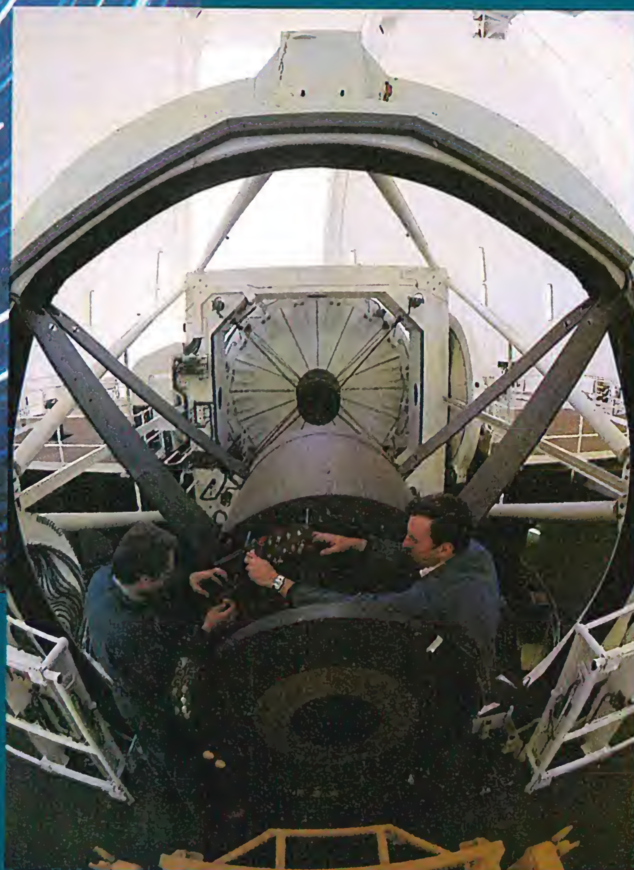
Eine Umfrage im Sommer 1991 brachte es heraus. Von 2147 Deutschen, die von Meinungsforschern interviewt wurden, glaubten 11 %, daß sich die Sonne um die Erde drehe, und ganze 7 % wollten sich vorsichtshalber auf keine genaue Aussage festlegen. Zwar ist seit 1543, als Nicolaus Copernicus mit seinem Werk „Über die Umläufe der Himmelskörper" die Sonne in die Mitte der Planetenbahnen rückte, schon einige Zeit ins Land gegangen, doch offenbar sprechen sich manche „Neuigkeiten" schlecht herum.

Manch einer mag sich selbstgefällig über die Unwissenheit so vieler Mitmenschen amüsieren, doch hat er dazu Anlaß? Er wird es vielleicht nicht glauben, aber die regelmäßige Bahn der Sonne am Firmament dürfte selbst für ihn noch Überraschungen bereithalten.

Im Osten geht die Sonne auf, im Süden nimmt sie ihren Lauf... Was soll daran schon Besonderes sein? Nun, zum Beispiel, daß dieser Reim gerade an zwei Tagen im Jahr stimmt: am 21. März und am 23. September.

## Das Apfelmodell

Warum das so ist, kann man sich leicht veranschaulichen. Man setzt sich an einen runden Tisch und stellt auf seinen Mittelpunkt ein Teelicht, die Sonne. Der Rand der Tischplatte ist die Bahn der Erde, ein Apfel stellt sie dar. Wo aus ihm der Stiel herausschaut, ist der Nordpol, gegenüber ist der Südpol.



David Parker/Science Photo Library

Damit das Modell stimmt, darf man den Apfel jedoch nicht einfach auf den Tischrand legen, man muß ihn etwas schräg halten. Die Verbindungslinie zwischen Stiel und Knospe, die Erdachse, ist 23,5 Grad zur Tischplatte geneigt. Während ein Jahr vergeht und der Apfel entgegen dem Uhrzeigersinn





stirn. Je näher jedoch Sommer- oder Winteranfang rückt, desto deutlicher macht sich die Schräglage der Erdachse bemerkbar: Weil zu Winteranfang der Apfelstiel in den Nachthimmel weist, ist die Planetenbahn so steil wie die der Sonne zu Sommeranfang. Entsprechend flach ist seine Bahn zu Sommeranfang.

Der Erdmond befindet sich nie an zwei aufeinanderfolgenden Tagen zur selben Stunde am gleichen Platz. Doch auch er bewegt sich etwa auf Höhe der Tischplatte – seine Bahn ähnelt den Planetenbahnen, und man kann ihn als Apfel darstellen, der um die Erde kreist.

## Spiegelbild der Sonne

Machen wir es uns einfach und betrachten zunächst nur den Vollmond. Die volle erdzugewandte Mondseite reflektiert Sonnenlicht, er steht der Sonne also direkt gegenüber. Folgerichtig geht er ungefähr dann auf, wenn die Sonne hinterm Horizont versinkt, und unter, wenn die Morgensonne auftaucht. Wie ein äußerer Planet, der gegenüber der Sonne steht, ist er das Spiegelbild des Zentralgestirns: Um den Winteranfang ist seine Bahn in unseren Breiten am steilsten, und sein Auf- und Untergangspunkt im Osten und Westen sind am weitesten nach Norden verschoben.

Weil der Mond aber um die Erde wandert, hat die Mondbahn auch vieles mit der von Merkur und Venus gemein – dann, wenn er näher zur Sonne steht als die Erde. Nahe Neumond sieht man ihn als schmale Sichel. Nimmt er ab, zeigt seine Rundung nach links; er geht der Sonne voran. Sieht er aus wie die Klammer zu „)", nimmt er zu und folgt ihr.

Im Apfelmodell sieht man: Bei Halbmond steht der Mond von der Sonne aus gesehen genau neben der Erde; der zunehmende Halbmond rechts, der abnehmende links. Wer aber glaubt, daß darum der zunehmende Halbmond stets im Osten zu Mittag auf- und im Westen zu Mitternacht untergeht, während der abnehmende dieselbe Bahn mit 12 Stunden „Verspätung" durchläuft, irrt.

Nur zum Sommer- und Winteranfang stimmt diese Annahme ungefähr. Zum Frühlingsanfang jedoch ist der Apfelstiel dem zunehmenden Halbmond zugewandt, so daß sich die Bahn des zunehmenden verlängert, die des abnehmenden verkürzt. Zu Herbstanfang ist es umgekehrt. Das Resultat: Der Mond weicht etwa 2,5 Stunden vom Fahrplan ab, entsprechend weit entfernt geht er vom Ost- und Westpunkt auf bzw. unter.

## Schräge Mondbahn

Ungefähr, an dieses Wort muß sich gewöhnen, wer feste Regeln für den Mondlauf sucht, denn die Mondbahn liegt 5 ° schräg zur Tischplatte, und die Phasen wechseln, zu denen der Mond mit größtem Abstand über ihr schwebt. Erreicht er etwa in einem Monat die „größte Nordbreite" als Vollmond, so steht er im darauffolgenden Monat zwei Tage vor Vollmond am höchsten über dem Tisch.

Hätte die Mondbahn diese leichte Neigung nicht, wäre zu jedem Vollmond Mondfinsternis, und jeder Neumond würde die Sonne verdunkeln. So aber sind diese Ereignisse wesentlich seltener, zu ihnen kann es nur dann kommen, wenn der Voll- bzw. Neumond gerade in Tischebene liegt.

### REFRAKTION

Die Sonne geht zu Frühlings- und Herbstanfang genau im Osten auf und im Westen unter, heißt es, doch stimmt das nicht so ganz, denn den tatsächlichen Sonnenauf- und -untergang sehen wir gar nicht. Die Atmosphäre der Erde beugt vom All flach einfallende Lichtstrahlen, so daß man ein wenig unter den Horizont blicken kann – gerade so tief, daß man die volle Sonnenscheibe gerade aufgegangen sieht, während sie sich tatsächlich noch etwas unterm Horizont befindet. Man sieht sie also, obwohl sie eigentlich noch nicht ganz da ist. Und weil sie in unseren Breiten nicht senkrecht aufsteigt, ist ihr Aufgangspunkt somit etwas nach Norden verschoben.


Rev Ronald Royer/SPL

◀ ***Kometen*** *laufen oft auf Bahnen, die stark zur Ebene, in der die Erde die Sonne umkreist, geneigt ist. Sie können daher überall am Firmament auftauchen.*


Dennis die Cicco/SPL

▼ ***Viele Galaxien*** *werden ober- und unterhalb der Galaxisebene von Kugelsternhaufen umschwirrt, die durch kleinere Teleskope gesehen wie einzelne Sterne wirken, tatsächlich aber Millionen Sterne umfassen können.*

### Kaum zu glauben

**HEISSE SOCKEN**
UNSERE SONNE UMKREIST DAS ZENTRUM UNSERER MILCHSTRASSE ATEMBERAUBEND SCHNELL. JEDE SEKUNDE LEGT SIE 220 KM ZURÜCK.


Paul Raymonde

- LICHTFRESSER
- DOPPELSTERNE
- COOLE SONNEN

# BOTSCHAFTEN AUS LICHT

**AUCH IM GRÖSSTEN TELESKOP erscheinen uns die Sterne nur als winzige Lichtpunkte. Dennoch kennen wir von vielen den Durchmesser, die Temperatur ihrer Oberfläche und ihre Masse. Ihr Licht informiert uns über diese fernen Welten.**

Auch wenn sich bislang noch keine extraterrestrische Intelligenz bei uns gemeldet hat: Das Licht der Sterne steckt voller mysteriöser Botschaften. Vieles von dem, was Astronomen über die weit entfernten Glutbälle im All wissen, haben sie aus deren Licht abgelesen – genauer: aus dem Lichtspektrum.

Wenn man Sonnenlicht durch ein Glasprisma scheinen läßt, so spaltet es sich in seine Spektralfarben auf. Nicht anders ist es mit dem Licht der Sterne. Mit großen Teleskopen angepeilt, kann man das Licht eines einzelnen Sterns recht gut isolieren und dann in die Regenbogenfarben auffächern. Wie kommen diese Farben zustande?

*▼ Aus dem Spektrum seines Lichts, hier auf einem Kontrollschirm als Kurve sichtbar, entwerfen Astronomen den Steckbrief eines Sterns.*

Dr. Roger Griffin

*▲ Die intensivste Farbe im Licht eines Sterns wird bei gezielt unscharfer Abbildung deutlich. Kühle Sterne erscheinen rötlich, heiße bläulich.*

David Malin/Anglo-Australian Telesc. Board

Licht einer bestimmten Regenbogenfarbe ist Licht einer bestimmten Frequenz. Licht entsteht in Atomen. Wenn ein Elektron von einer weiten Bahn um einen Atomkern auf eine engere Bahn fällt, braucht es weniger Energie – der Überschuß wird als Lichtteilchen, als Photon, frei. Je größer der Energieunterschied zwischen Ursprungs- und Zielbahn, desto schneller schwingt das Photon, desto blauer ist das Licht.

Weil in jedem Atom die Elektronen nur auf bestimmten Bahnen kreisen





können, kann nur Licht ganz bestimmter Farben entstehen, aber kein lückenloses Spektrum, wie wir es von der Sonne kennen und wie es auch die Sterne zeigen. Ein solches Spektrum kommt nur zustande, weil es in der Sonne wie den Sternen sehr viele freie Elektronen gibt. Weil diese sich, bevor sie auf eine feste Bahn einschwenken, auf unterschiedlichstem Energieniveau befinden, hat das Licht alle möglichen Farben.

## Lichtschluckende Gase

Zwischen Sonnen- und Sternenlicht dürfte es also eigentlich keine Unterschiede geben – richtig? Falsch! Denn in den äußeren, kühleren Schichten eines Sterns „lauern" Gase auf das Licht aus dem heißen Zentrum. Wasserstoff etwa hat es unter anderem auf 457 Billionen mal pro Sekunde schwingende Photonen abgesehen. Sie liefern einem Elektron auf der zweitinnersten Bahn um den Wasserstoffkern genau die Energie, die es braucht, um auf die dritte zu kommen. Die Folge: Im Spektrum eines Sterns, dessen äußere Schichten viel Wasserstoff enthalten, fehlt Licht dieser Frequenz – im Orange des Spektrums steht eine schwarze Linie.

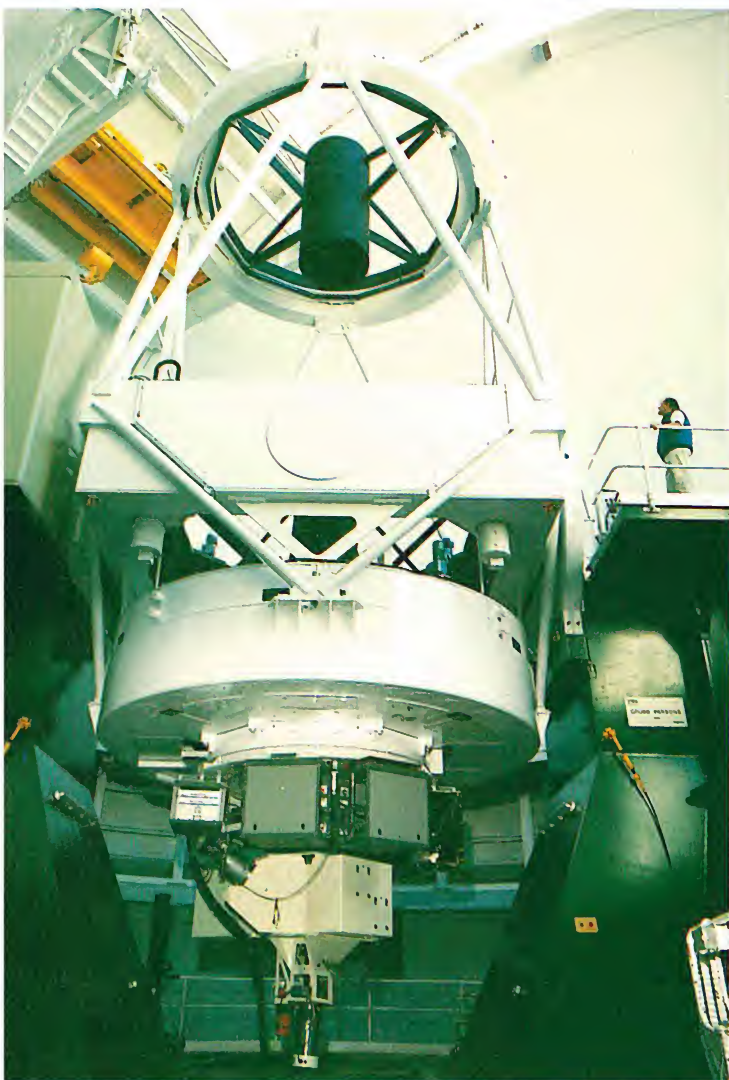
Weil jedes Gas Licht ganz bestimmter Wellenlängen absorbiert, kann man aus dem Stand der Linien im Spektrum genau ablesen, welche Gase in den äußeren Sternenschichten vorhanden sind.

Aber mehr noch: Aus den Spektren läßt sich auch ablesen, wie heiß die Oberfläche eines Sterns ist. Je höher ihre Temperatur, desto stärker leuchtet sie in den energiereichen Farben – Licht über 10 000 Kelvin heißer Sterne scheint eher blau, während das Licht um die 5000 Kelvin heißer Sterne rötlich ist.

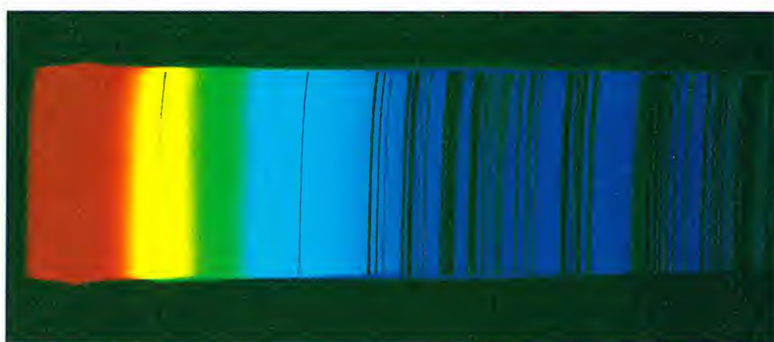
Wenn man die Merkmale von Sternenspektren zusammenfaßt, erkennt man, daß bei allen Sternen mit dem gleichen Linienmuster im Spektrum die Intensitätsspitze an derselben Stelle liegt. Man kann also die Oberflächentemperatur aus dem Linienmuster direkt ablesen.


ROE/AATB

▲ **Gas** schluckt Licht bestimmter Energie, kann aber auch selber leuchten. Die Zusammensetzung von interstellaren Gaswolken läßt sich daher aus ihrer Farbe schwer ermitteln.


Royal Greenwich Observatory

◄ **Das Spektroskop** zur Zerlegung des Sternenlichts – als rot-silbernes Anhängsel im unteren Teil des Bildes zu sehen – ist winzig im Vergleich zum Teleskop.


Physics Dept., Imperial College/Science Photo Library

▲ **Kennlinien** im Licht eines Sterns. Aus ihrem Muster erkennt man, welche Gase den Stern umhüllen.

## Absolute Helligkeit

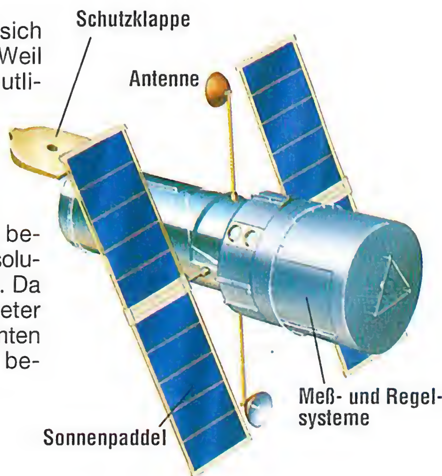
Als die Astronomen begannen, sich eingehend mit den Sternenspektren zu befassen, war nur von verhältnismäßig wenigen Sternen bekannt, wie weit sie von uns entfernt sind. Sterne in über 100 Lichtjahren Entfernung sind zu weit, als daß man ihre Entfernung durch die damals üblichen Winkelmessungen bestimmen konnte.

So konnte man damals nur für die nahen Sterne errechnen, wie hell sie tatsächlich sind – indem man die scheinbare Helligkeit, die man von der Erde direkt messen kann, mit ihrer Entfernung in Beziehung setzte. Bald stellte sich heraus, daß Sterne gleicher absoluter Helligkeit auch meist die gleichen Linienmuster im Spektrum aufwiesen. Damit hatte man einen Weg zur Entfernungsbestimmung weit entfernter Sterne gefunden: Man erschließt die absolute Helligkeit aus dem Spektrum, vergleicht sie mit der scheinbaren Helligkeit und errechnet die Entfernung.

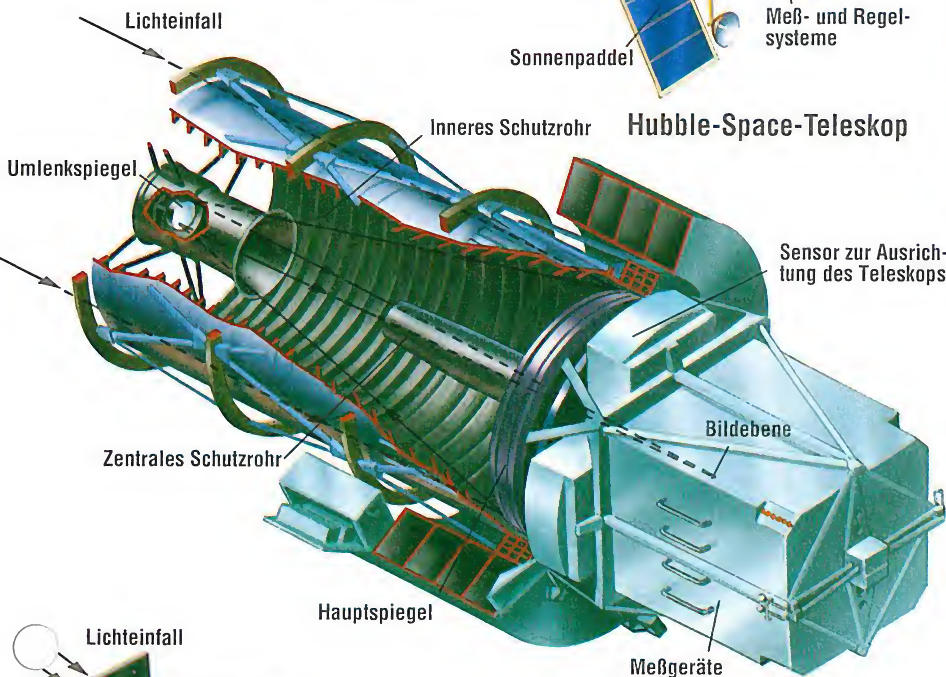
Daß die Masse von Sternen mit der absoluten Helligkeit in Einklang steht, fanden Astronomen anhand von Doppelsternen heraus. Es sind Sterne, die nicht von Planeten, sondern von einem anderen Stern umkreist werden. In Fällen, in denen der Umlauf so gut zu beobachten ist, daß man die Bahn und die

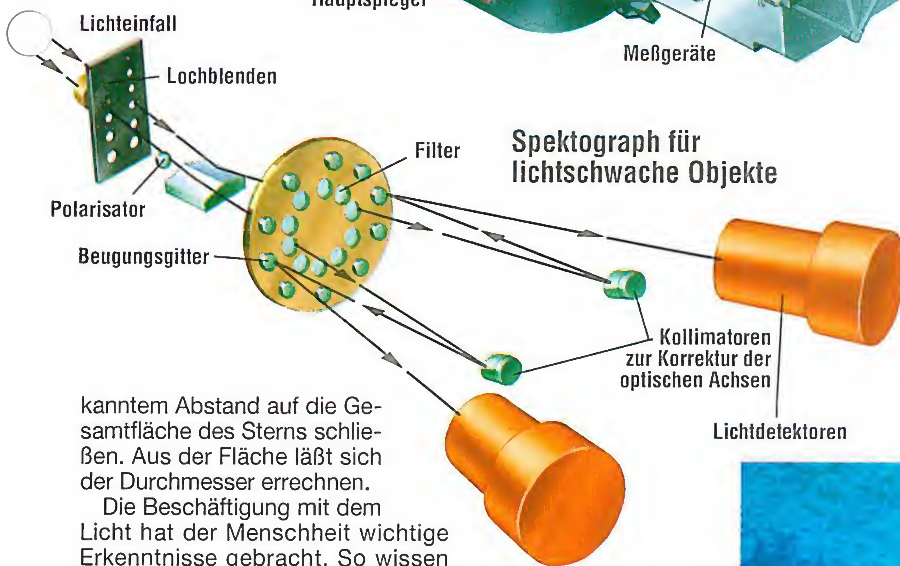
Umlaufzeit bestimmen kann, läßt sich die Masse der Sterne berechnen. Weil sich bei den Doppelsternen ein deutlicher Zusammenhang zwischen Masse und Helligkeit ergibt, kann man mit recht großer Sicherheit auch bei Einzelsternen von der Leuchtkraft auf die Masse schließen.

Den Durchmesser von Sternen bestimmt man ebenfalls mittels der absoluten Helligkeit – und der Temperatur. Da man weiß, wie hell ein Quadratmeter Sternenoberfläche bei einer bestimmten Temperatur leuchtet, kann man bei be-




Paul Williams




kanntem Abstand auf die Gesamtfläche des Sterns schließen. Aus der Fläche läßt sich der Durchmesser errechnen.

Die Beschäftigung mit dem Licht hat der Menschheit wichtige Erkenntnisse gebracht. So wissen wir inzwischen, daß unsere Sonne ein ziemlich durchschnittlicher Stern ist.

## Unvorstellbar hell

Es sind Sterne mit millionenfacher Leuchtkraft der Sonne bekannt, die am Nachthimmel jedoch kaum auffallen, weil sie sehr weit von uns entfernt sind. Wer einen Stern großer Leuchtkraft sehen will, sollte zum relativ nahen Deneb im Schwan aufschauen. Er ist 1825 Lichtjahre von der Sonne entfernt und leuchtet 75 000mal so hell wie sie.

Andererseits gibt es auch Sterne, die bis zu 100 000mal schwächer als die Sonne leuchten. Wohl der bekannteste

▲ *Das Hubble-Space-Teleskop hat auch einen Spektrographen „an Bord", der die Strahlen schwach leuchtender Objekte analysieren kann. Zu solchen lichtschwachen Objekten gehören zum Beispiel Quasare (rechts). Das Teleskop arbeitet dabei nicht mit einem Prisma, sondern mit Beugungsgittern.*

## Kaum zu glauben

**SUPERSTAR**

DER GRÖSSTE BEKANNTE STERN IST VV CEPHEI. ER IST 2400MAL SO GROSS WIE UNSERE SONNE. STÜNDE ER AN IHRER STELLE, WÜRDE SATURN NOCH IN IHM KREISEN.



Paul Raymonde

dieser „Tranfunzeln" ist der 5,9 Lichtjahre entfernte Barnards Pfeilstern.

Wegen der eindeutigen Beziehung, die zwischen den beiden Größen herrscht, muß für die Masse dasselbe gelten wie für die Leuchtkraft. Auch hier hat die Sonne Mittelmaß. Die leuchtkräftigsten Sterne sind zugleich die massereichsten; sie bringen das 100fache der Sonnenmasse auf die Waage. Die lichtschwächsten sind die Leichtgewichte - zwölf von ihnen wiegen die Sonne auf.

## Schnödes Mittelmaß

Auch was die Temperatur angeht, ist die Sonne nichts besonderes. Mit 5785 Kelvin an der Oberfläche liegt sie im unteren Mittelfeld zwischen „coolen Typen" wie Beteigeuze (3200 K) und „Heißspornen" wie Spica (20 000 K).

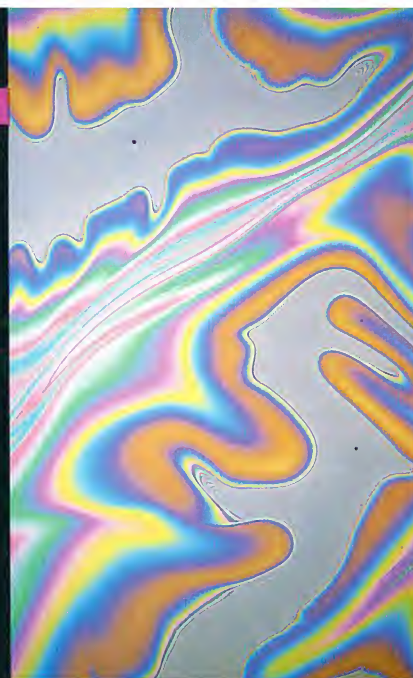
Trotzdem, Mittelmaß, das ist gar nicht mal so übel. Heißt das doch, daß es etliche solcher Sterne wie die Sonne gibt und daß es zumindest nicht ganz unwahrscheinlich ist, daß um etliche auch Planeten existieren. Das aber könnte bedeuten, daß uns eines Tages nicht nur Botschaften von Sternen aus der Ferne erreichen, sondern Botschaften von Lebewesen.

S.Wyckhoff & P.Wehninger/Science Photo Library






Tony Stone Photo Library London


P.Aprahamian /Science Photo Library


Kanicki/Transglobe/Jerrican

▲ Regentropfen zerlegen wie kleine Prismen Licht, das durch sie scheint, in die Spektralfarben.

▶ Öl auf Wasser verteilt sich als nur moleküldicke Schicht. Es schillert wie eine CD.

◀ In Leuchtstoffröhren regen freie Elektronen die Atome eines Gases – oft Quecksilberdampf – zum Leuchten an.


Sylvestris/Frank Lane Picture Agency

Tony Stone Photo Library London

▲ Das Meer erscheint blau, weil es das Blau des Himmels widerspiegelt.


D.Armand/Tony Stone Photo Library

▲ Absorption bestimmter Wellen und Reflexion der übrigen: So entstehen häufig Farben.

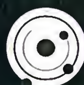
▲ Interferenz: Im reflektierten Licht fallen Tal und Berg der Wellen einiger Farben zusammen und löschen sich gegenseitig aus.


C.Bell/Tony Stone Photo Library London

▲ Je heißer die Kohle, desto energiereicher das Licht: „Gelbe“ Photonen schwingen schneller als „rote“.


Phil Jude/Science Photo Library

◀ Die Atmosphäre filtert blaues Licht stärker als rotes. Abends und morgens ist der Effekt besonders stark, weil die Strahlen der flachen Sonne eine dickere Luftschicht durchdringen.



# UNSICHTBARE GEFAHREN

**EIN VOLLES JAHR IM WELTALL: Was ist das schon? Nun, das ist immerhin Weltrekord. Und wer meint, er könnte ein Jahr im Orbit mal so eben auf einer Pobacke absitzen, der täuscht sich gewaltig.**

Wladimir Titow hält einen Rekord, der auf den ersten Blick nicht viel hermacht. 365 Tage, 22 Stunden und 39 Minuten dauerte der Höhenflug des Kosmonauten, der am 21. Dezember 1987 von Baikonur aus zur Raumstation Mir aufbrach und auf den Tag genau ein Jahr später mit der Kapsel Sojus-TM6 in der Taiga landete.

Wäre Heimweh das Schlimmste, was man fernab der Erde zu ertragen hätte, dann wäre Titows Rekord sicher nicht beachtlich. Tatsächlich jedoch bringt ein Raumaufenthalt von einem Jahr den Menschen bis an die Grenze des gesundheitlich Verkraftbaren.

Die Schwerelosigkeit ist da noch das geringste Übel. Weil die Erdanziehungskraft fehlt, mangelt es allen 212 Knochen des menschlichen Skeletts und der zugehörigen Muskulatur an der gewohnten Belastung.

## Schlappe Muskeln

Wer schon mal einen Fuß in Gips hatte, der weiß, daß seine Wade etwa so muskulös wie die eines Storchs ist, wenn der Gipsverband herunterkommt. Die Muskeln wurden nicht gefordert, also verzichtet der Körper darauf, Energie in sie hineinzustecken.

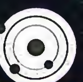
Ähnlich, wenngleich langsamer, bauen die Knochen im Orbit ab. Dem Körper fehlen wichtige Anreize, die keineswegs toten Knochen zu versorgen. Wer nach Monaten im All wieder zur Erde zurückkehrt, kann so geschwächt sein, daß ihm schon die geringste Beanspruchung die „Gräten" bricht.

Doch Schwerelosigkeit ist längst nicht alles, was dem Körper bleibende Erinnerungen an den Aufenthalt im All




*Die einsamste Baustelle der Welt – und zugleich eine recht gefährliche. Der Aufenthalt im All stellt den menschlichen Körper auf eine harte Belastungsprobe.*

NASA/Science Photo Library



## Die „Tretmühle“

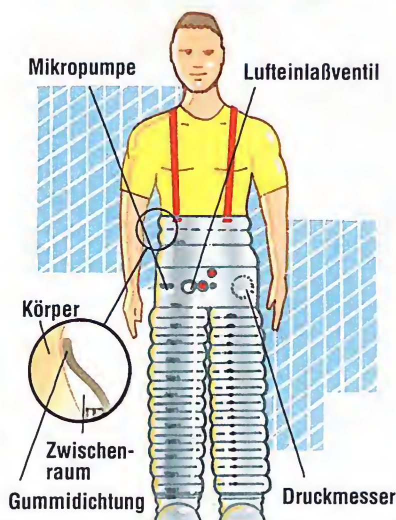



## Der „Stretcher“




## Unterdruck-Anzug






Joe Lawrence

◀ ***In der Schwerelosigkeit** hält Gymnastik den Körper fit. Um zu verhindern, daß aufgrund der fehlenden Schwerkraft zu viel Blut in den Kopf steigt, werden Unterdruckanzüge angelegt.*

bescheren kann. Ein ernstes Problem bei Langzeitflügen ist die Strahlung.

Aus unserer Sonne schießen nicht nur Photonen heraus, die wir dem Licht zurechnen. Auch Röntgenstrahlung und energiegeladene Protonen gehen von ihr aus. Während die durchschnittliche Strahlenbelastung, der man im Schutz der Atmosphäre ausgesetzt ist, etwa 1,7 mSv (Millisievert; 10 Millisievert = 1 rem) im Jahr beträgt, kann ein Raumfahrer in der Umlaufbahn diese Energiedosis leicht in einer Woche einfangen. Die Bordwand einer Raumstation schützt kaum vor der harten Strahlung.

## Strahlende Höhensonne

Zwar kreisen die Raumfahrer innerhalb des Magnetfeldes um die Erde, und die Strahlung erreicht nur außerhalb dieses „Schutzschirms“ Spitzenwerte, bei denen schlagartig die Haut verbrennt und das Blut geschädigt wird. Doch ist die



NASA

Strahlungsbelastung auch auf erdnäheren Bahnen nicht zu unterschätzen.

Energiereiche Strahlung richtet im menschlichen Körper stets Schaden an. Bei geringer Belastung werden allerdings so wenige Zellen zerstört, daß der Körper sie reparieren kann. Wächst das Ausmaß der Schädigung, kann der Körper diese Arbeit nicht mehr bewältigen.

## Kein Millisievert mehr

Das Krebsrisiko wächst mit jedem Millisievert. Selbst eine geringe Erhöhung der Strahlungsbelastung – wie sie auf der Erde etwa die Nutzung von Kernenergie schon im regulären Betrieb zur Folge hat – stellt eine Gefährdung dar.

Auf erdnahen Bahnen, so haben russische Forscher bei den Marathonflügen von Kosmonauten festgestellt, ist die energiereiche Strahlung so stark, daß sie zu meßbaren Veränderungen im Körper führt. Moleküle werden in freie Radikale aufgespalten, Molekülbruchstücke, die unerwünschte Reaktionen beim Zellstoffwechsel hervorrufen.

Indem er viel mit Vitaminen angereichertes Wasser trinkt, kann sich ein Raumfahrer eine Weile vor den verheerenden Folgen schützen – bis in alle Ewigkeit jedoch nicht. Je länger er dem Einfluß der Strahlen im Orbit ausgesetzt ist, desto schneller altert sein Körper.



NASA

▲ ***Elektroden** messen die Reaktion des Körpers bei Belastung im All. Die Daten werden von Medizinern auf der Erde ausgewertet. Über Videobilder (links) können sie verfolgen, ob ihre Schützlinge im Orbit sich an das verordnete Fitneßprogramm halten.*

### Kaum zu glauben

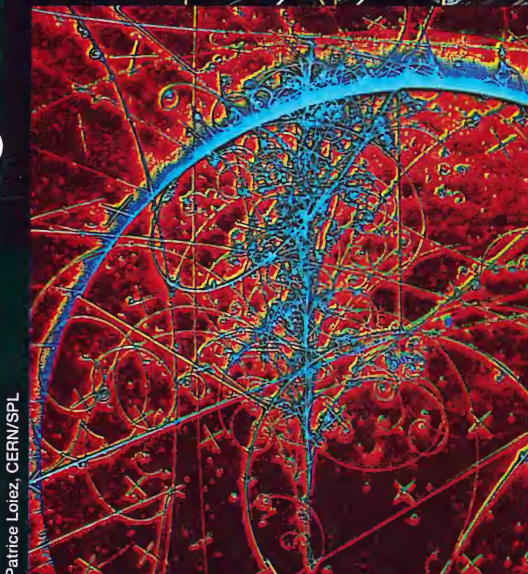
**LUFT ANHALTEN ZWECKLOS**

WENN AUS EINER RAUMFÄHRE DIE LUFT ENTWICHE, ENTSTÜNDE EIN SO GEWALTIGER UNTERDRUCK, DASS DAS BLUT DER ASTRONAUTEN INNERHALB WENIGER SEKUNDEN KOCHEN WÜRDE.



Paul Raymonde

# UNTERNEHMEN ARCHE NOAH


Patrice Loiez, CERN/SPL

*Von Raumstationen, hier ein Entwurf, stammt all unsere Erfahrung zum Leben außerhalb der schützenden Erdatmosphäre. Die Einflüsse kosmischer Strahlung (links in einer Nebelkammer sichtbar gemacht) wurden vor allem von Rußland erforscht. Schutz vor den zerstörerischen Strahlen bieten Bleiwände. Sie machen jedoch Raumflugkörper schwer und die Starts teuer.*

NASA/SPL

**EINE ANDERE WELT IN RESERVE – das wäre nicht schlecht. Würden sich so die Überlebenschancen der Menschheit doch gleich um 100 % erhöhen. Sind solche Ideen bloße Hirngespinste?**

Selbst wenn wir mit der Erde sorgfältig umgehen, sie hegen und pflegen und alles tun, um sie als lebenswertes Plätzchen zu erhalten: Ganz sicher, daß sie uns noch ein paar Millionen Jahre mit allem Lebensnotwendigen versorgt, können wir nicht sein.

Denken wir etwa an das Ultragift Dioxin. Es wird freigesetzt, seit es PVC gibt, Kunststoffe aus der Chlorchemie. Von seiner gewaltigen Giftigkeit – es sammelt sich im Körper an, und geringe Mengen können bereits Krebs fördern – weiß man aber erst seit zwanzig Jahren. Inzwischen ist es über alle Ökosysteme der Welt verteilt. Produziert wird es noch immer – das ist schon schlimm genug. Aber denkbar ist noch Schlimmeres. Was wäre etwa, wenn wir demnächst feststellen müßten, daß wir noch viel tödlichere Ultragifte produzieren, ohne es zu wissen?

Dann wäre es sicher soweit, daß sich so mancher wünschte, es gäbe eine Möglichkeit, sich von der Erde abzusetzen. Ein Planet, noch nicht vergiftet von der Menschheit, wäre traumhaft.

Aber es gibt doch solche Planeten. Den Mars etwa! Wenn man als Alternative eine nicht mehr reparierbare, verseuchte Erde hätte, dann kämen einem extreme Temperaturschwankungen zwischen minus 80 und plus 24 °C vielleicht gar nicht mal so übel vor. Selbst in einer dünnen, nur 0,3 % Sauerstoff enthaltenden Marsluft wollte dann vielleicht mancher solche „Wechselbäder" gerne ertragen.

Gut! Es geht also darum, einen fremden Planeten zu besiedeln. Der Flug zum Mars ist technisch machbar, auch wenn es noch einige ernsthafte Probleme gibt. Ob unsere Gesundheit die Passage schadlos übersteht, ist nicht

## Kaum zu glauben

**KNUSPER DIR EINEN**

DAMIT SICH KEINE KRÜMEL LÖSEN UND SCHWERELOS IM SHUTTLE SCHWEBEN, SIND MANCHE HAPPEN ASTRONAUTENNAHRUNG MIT EINEM GELATINEFILM ÜBERZOGEN.


Paul Raymonde







◀ ***Schwerelosigkeit*** *sieht auf den ersten Blick ziemlich lustig aus. Schwebende Kugeln Erdbeersaft oder hochtoupierte Frisuren, die ohne Haarspray halten (unten), sind doch was Feines. Tatsächlich geht mangelnde Schwere ganz schön auf die Knochen, die Muskulatur und den Kreislauf. Ein Patentrezept gegen diese Übel gibt es noch nicht. Raumfahrer zum Mars müßten sie wohl erdulden.*

NASA/Science Photo Library



NASA

gewiß. Aber zu überleben wären 300 Tage Schwerelosigkeit und die etwa ein Drittel der Erdwerte betragende Schwerkraft auf dem Mars sicherlich.

Auch die Kosten für den Flug zum Mars würden beträchtlich zu Buche schlagen. Doch könnte man sich ja zunächst mit einer kleinen Kolonie zufrieden geben, die späteren größeren Siedlungen den Weg bereitet. Nur: Gerade hier liegt das größte Problem.

## Leben im Glashaus

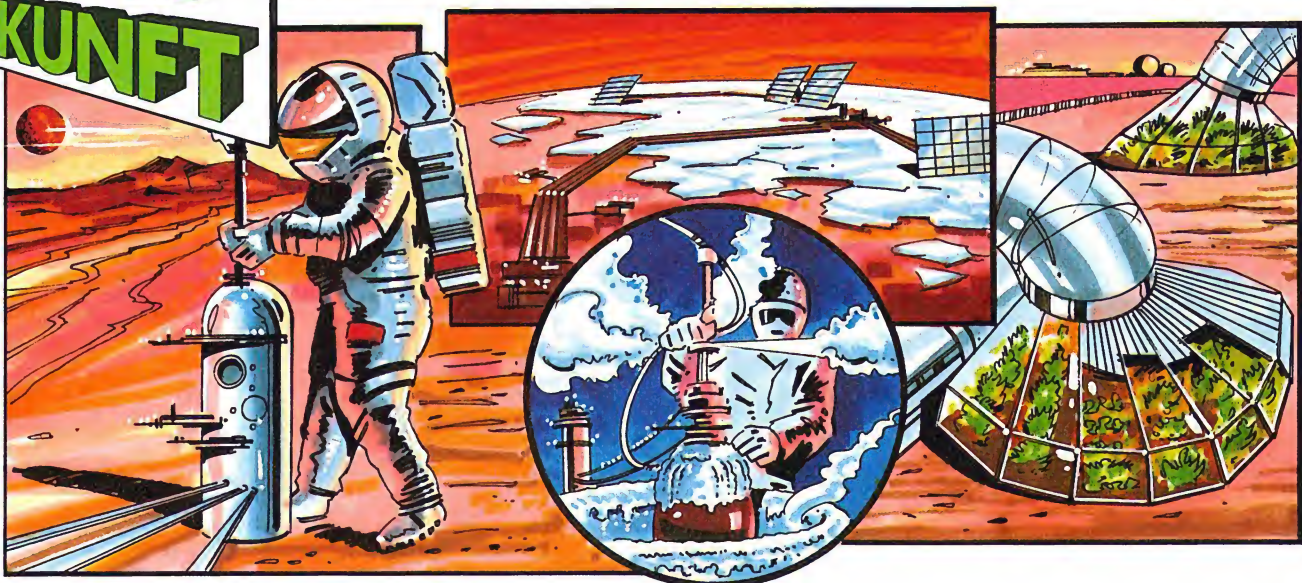
Ob künstliche Biotope überlebensfähig sind, ist nämlich nicht klar. In den USA wurde dazu ein Experiment durchgeführt: Acht Menschen ließen sich im September 1991 für zwei Jahre in die „Biosphäre 2" einschließen – eine 1,3 Hektar große, von der Außenwelt abgeschlossene Glaskuppelwelt in der Wüste von Arizona. Das Experiment mißlang. Zwar hielten es die „Bionauten" zwei Jahre lang unter der Käseglocke aus, doch funktionierte der Mikrokosmos nicht so reibungslos wie erhofft. Der Kohlendioxidgehalt in der Luft stieg derart bedrohlich an, daß die Luftschleusen mehrfach geöffnet und Frischluft von außen zugepumpt werden mußten. Auch sonst fehlte es in der „Biosphäre 2" am Nötigsten: Die Palette der eingeführten Güter ist lang und enthält auch Nahrungsmittel, ohne die die „Bionauten" in ihrer schönen neuen Welt verhungert wären. Eine zweite Crew, die im März 1994 in den Glaspalast einzog, mußte sogar schon nach sechs Monaten wieder die Koffer packen. Gibt es also keine Chance, den Mars bewohnbar zu machen?

Vielleicht doch! Einige Wissenschaftler liebäugeln mit dem Gedanken, genmanipulierte Lebewesen auf dem Mars anzusiedeln. Sie sollen mit den dort vorherrschenden Bedingungen fertigwerden und sie nach und nach in lebensgerechtere verwandeln. Doch selbst diese Methode bräuchte nach optimistischsten Schätzungen etwa 100 000 Jahre.

Viel unangenehmer ist an dieser Idee jedoch noch etwas anderes. Wenn sich die Menschen auf die Produktion solch mächtiger Mikroorganismen einließen und die Kunstwesen kämen auf der Erde frei, dann könnte es deutlich weniger als 100 000 Jahre dauern, bis wir die Erde fluchtartig verlassen müßten.

## BLICK IN DIE ZUKUNFT

### ERSTE SCHRITTE AUF DEM MARS



Joe Lawrence

▲ *Für die ersten Ankömmlinge auf dem Mars wäre Überleben kein Kinderspiel. Wesentliche Grundvoraussetzungen müßten erst einmal geschaffen werden.*

▲ *Wasser ließe sich möglicherweise von den Polkappen des Planeten abschmelzen, Sauerstoff könnte man durch elektrische Aufspaltung des Wassers gewinnen.*

▲ *Doch irdische Pflanzen könnten deshalb noch lange nicht wachsen: Auf dem Mars schützt die dünne Atmosphäre kaum vor schädlicher Strahlung aus dem All.*

● SONNENBANK ORION ● WICKELKINDER ● HYPERZINSEN

# INTERSTELLAR-TOURS

**ADRIA, KARIBIK, SEYCHELLEN: Alles längst mega-out! Ganymed, Miranda, Titan: Da kann man ja gleich Urlaub im eigenen Garten machen. Schließlich gibt es Interstellar-Tours – Ihr zuverlässiger Partner in Sachen Fernreisen.**

Liebe Urlauber! Wir freuen uns, daß Sie an unseren Angeboten Interesse haben. Mit Interstellar-Fernreisen treffen Sie eine gute Wahl. Sie wissen, obwohl heutzutage fast nichts mehr unmöglich ist – eines ist es immer noch: Einen Urlaub kann man nicht umtauschen. Lichtschnell reisen, zu vernünftigen Preisen, zu den schönsten Zielen des Universums, das ist unser Programm. Zu diesen Versprechungen stehen wir.

Ehrlichkeit, das ist unsere Devise, und wir halten nichts davon, wenn andere Veranstalter keinen miesen Trick scheuen, um Kasse zu machen. Wir möchten keine Namen nennen, aber kennen Sie Hyperlight-Travel? Eine ge-

David A.Hardy/Science Photo Library

***Planeten,** Monde, Sonnen ferner Galaxien: Mit Interstellar-Tours sehen Sie alles, was es zu sehen gibt – und werden nebenbei noch reich: im Handumdrehen.*







NASA

▲ ***Pioneer 10:** unser Reiseziel für Wildwest-Fans. Unermüdlich schwebt die Sonde, vor 5000 Jahren von ersten Siedlern Amerikas gestartet, durchs All.*

fährliche Gangsterbande, und wir wünschen Ihnen um alles im Universum, daß Sie niemals in ihre Fänge geraten.

## Windelweiche Versprechen

„Überlichtschnell reisen, Sie kommen jünger zurück, als Sie losgeflogen sind, heute geflogen, gestern schon da..." Lassen Sie sich nicht aufs Glatteis führen: Haben Sie schon mal jemanden gesehen, der mit den Hyperlight-Schuften auf Fahrt gegangen ist? Wir schon.

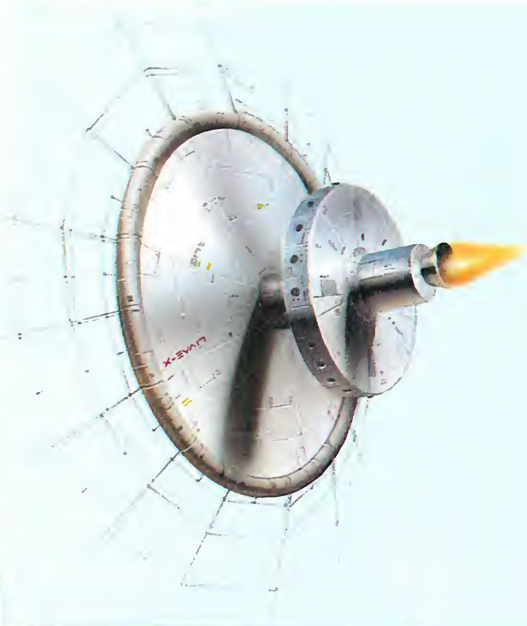
Zu Anfang sieht alles bestens aus: ein Raumschiff mit viel Chrom, Spoiler und Fuchsschwanz an der Antenne, innen alles vom Feinsten, und sobald das Raumschiff abgehoben hat, laufen die Uhren rückwärts. Doch damit sind wir auch schon bei den unangenehmen Seiten überlichtschneller Fortbewegung.

Nur soviel: Es hat Fälle gegeben, in denen die Piloten von Hyperlight so lange überlichtschnell auf Parkplatzsuche im Zielgebiet herumgejuckelt sind, daß sich einige Passagiere bei Ankunft schon zu Wickelkindern verjüngt hatten und sich die Chromteile im Schiff bereits in Erz zurückzuverwandeln begannen.

## Reisen bis zum Ruin

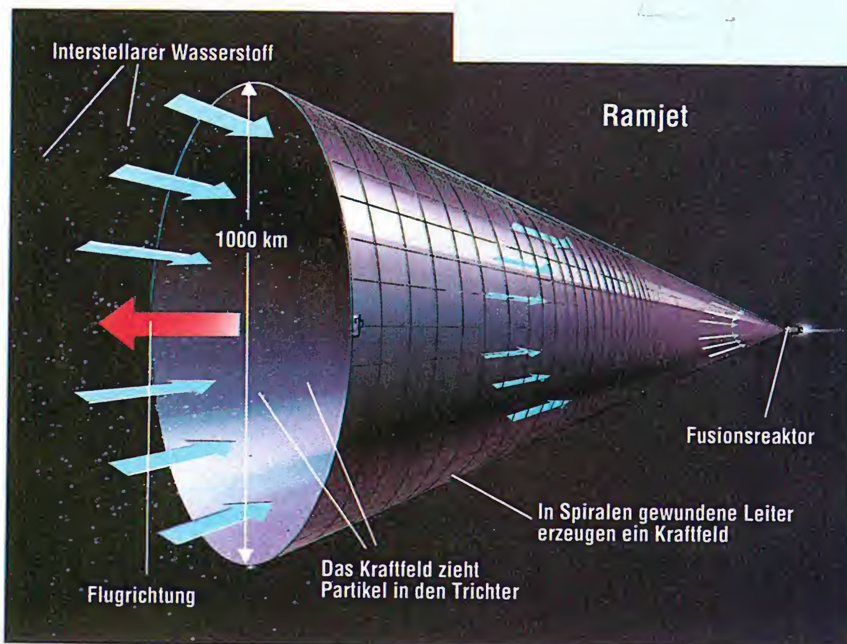
Eine unrühmliche Ausnahme? Sie glauben, daß Hyperspace-Kunden, deren Reise nach Fahrplan verläuft, besser dran wären? Vergessen Sie's! Warum sind die Flüge wohl so terminiert, daß Sie zwei Tage früher zurückkommen, bevor sie losgeflogen sind? Damit Sie gerade noch Zeit haben, zu Ihrer Bank zu gehen, Geld abzuheben und dieselbe Reise noch einmal zu buchen, natürlich. Eine fürchterliche Zeitschleife, aus der Sie nicht eher herauskommen, bis Sie bettelarm sind und sich Hyperspace mit all Ihrem Geld in den nächsten Superhaufen abgesetzt hat.

Gehen Sie also diesen Schurken nicht auf den Leim. Vertrauen Sie Ihr Ferienglück uns an. Wir werden Sie nicht enttäuschen: Sie wollen mal so richtig braun werden? Dann sollten Sie sich unsere Mintaka-Alnilam-Alnitak-Tour nicht entgehen lassen. Diese Fahrt, die wir nun schon in der vierten Saison anbieten, ist genau das richtige für alle, die leicht Heimweh bekommen. Nur 2350, 1200 bzw. 1600 Lichtjahre sind diese drei herrlichen Sterne, der „Gürtel des Orion", von uns entfernt – alle noch recht junge Burschen und deshalb ziemlich heiß. Und wie Sie wissen sollten: Je heißer ein Stern ist, desto mehr powert er im UV-Bereich. Zum Vorbräunen empfehlen wir daher Mintaka und Alnitak, für den ultimativen Bronzeton



▼ ***Ein Oldtimer:** der Ramjet. Ein riesiger Trichter sammelt interstellaren Wasserstoff für einen Fusionsreaktor (rechts). Bereits im 23. Jahrhundert verwarf man die Ramjets, weil sie sich ständig an Kometen „verschluckten".*

Adrian Chesterman




Simon Critchley

## Kaum zu glauben

**ÜBERHOLMANÖVER**

EIN LICHTSCHNELLES RAUMFAHRZEUG, DAS IM JAHR 6992 VON DER ERDE ABFLIEGT, KÖNNTE DIE SONDE VOYAGER 2, DIE 1989 MIT 98 405 KM/H AN NEPTUN VORBEISAUSTE, IN EINEM HALBEN JAHR EINHOLEN.

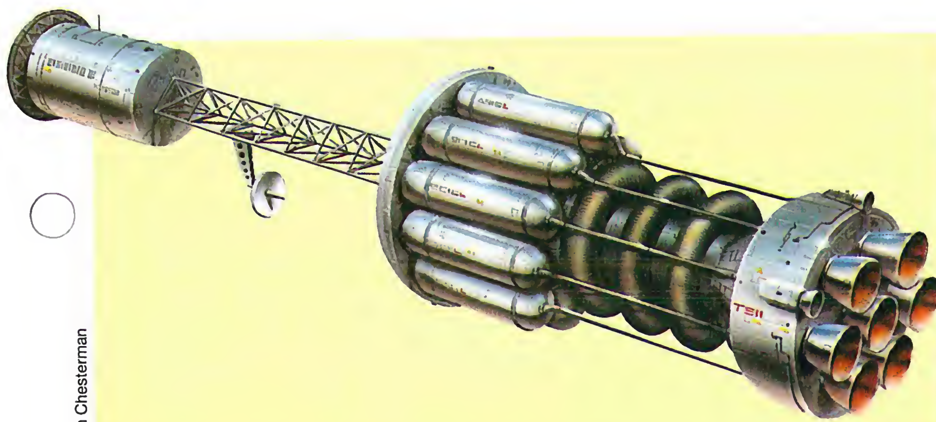


Paul Raymonde



▶ ***Die Andromeda-Galaxie,** die größte Masseansammlung unserer Lokalen Gruppe und ein Ziel der wunderbaren „14-Galaxien-Tour".*

NASA/Science Photo Library



Adrian Chesterman

unser Sonnendeck in der Umlaufbahn um den 30 000 K heißen Alnilam. Unser Tip: Nehmen Sie eine gute Sonnenbrille mit. Der mittlere Gürtelstern Orions ist 23 000mal heller als die Sonne.

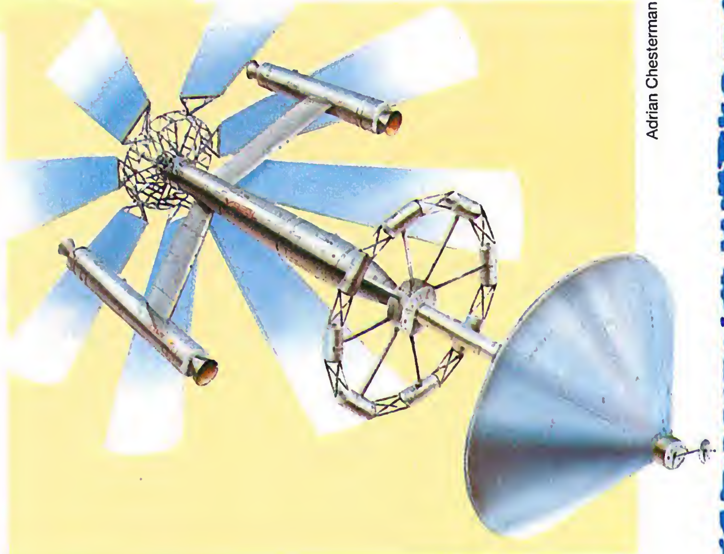
## Astro-Surfing

Unser zweites Angebot: Glauben auch Sie, Surfer haben einen Urknall? Dann sollten Sie sich von uns bekehren lassen. Vergessen Sie alles, was Sie bisher an Wogen gesehen haben. Mit der Stoßwelle einer Supernova kommt nichts mit: im Rücken die Super-Lightshow der Sternexplosion, unter Ihrem Brett 10 000 km/s schnell expandierende Gasmassen, vor Ihnen nichts als der leere Raum. Was könnte schöner sein!

Unser Surftrip hält Sie lichtschnell auf Warteschleife zwischen den massereichen pulsierenden Sternen unserer Galaxis, den Kandidaten also, die als nächste kollabieren dürften. Für Sie bedeutet das: Wenn´s losgeht, sind Sie als erster zur Stelle, ob sich der Ausbruch nun in 100, 1000 oder 10 000 Jahren ereignen wird. An Bord des Schiffes vergeht keine müde Sekunde. Das strahlensichere Surfbrett stellen wir – strahlenfeste Unterwäsche bringen Sie bitte selber mit.

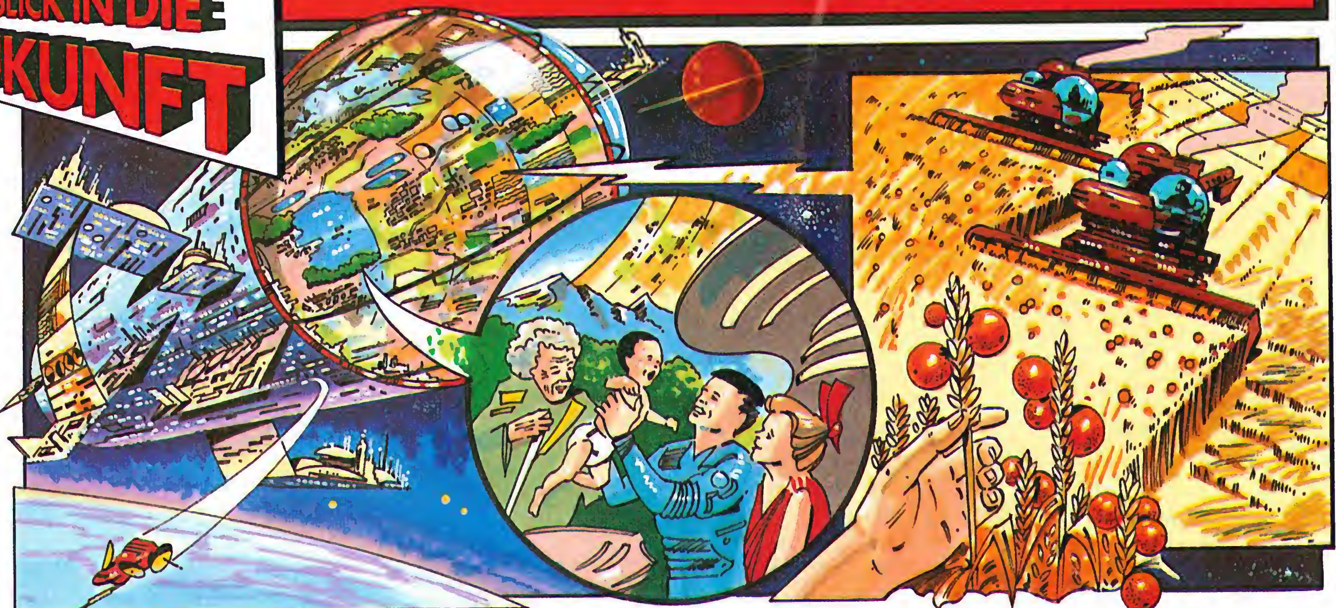
Unser drittes Top-Angebot – 14 Galaxien in 14 Tagen – bietet selbst dem verwöhnten Sternreisenden noch echte Knaller: den größten Hut des Universums etwa, die Sombrero-Galaxie. Und wenn Sie immer schon mal unsere Milchstraße „von oben" sehen wollten: Aus 1 Million Lichtjahren Höhe haben Sie den besten Überblick. Hier schwebt unsere Aussichtsplattform. Eine Schautafel zeigt Ihnen den Platz der Sonne in unserem wunderbaren Feuerrad aus leuchtenden Sternen.

Was der Spaß kostet, werden Sie nun fragen. Fast alles, was Sie haben: Haus und Hof, Schmuck und Bares, Sie überschreiben uns alles vor Reiseantritt. Ihnen bleiben lediglich 10 Mark. Aber bedenken Sie: Während für Sie im Urlaub nur Tage vergehen, verstreichen daheim Jahrmillionen. Ihre 10 Mark liegen derweil auf der Bank und bringen Zinsen. Rechnen Sie sich aus, welch enormes Vermögen Sie bei der Rückkehr erwartet. Wir freuen uns bereits, Sie an Bord von Interstellar-Tours zu begrüßen.



Adrian Chesterman

▲ ***Antimaterie** sollte als Antrieb für dieses urige Raumfahrzeug dienen – der Entwurf, den man bei Ausgrabungen gefunden hat, dürfte aus dem 20. Jahrhundert stammen. Woher unsere Ahnen die Antimaterie nehmen wollten, darüber geben die Dokumente keine Auskunft. Immerhin scheint man auch damals schon die Idee des Lichtantriebs (rechts) angedacht zu haben.*




▲ *Ebenso wahrscheinlich – oder unwahrscheinlich – wie lichtschnelle Flüge sind künstliche Welten, die der Mensch zu anderen Sternensystemen entsendet.*

▲ *Auf ihren Flügen im „Schneckentempo" würden einander mehr Generationen bis zur Ankunft ablösen, als dies vom ersten Auftreten des Menschen bis heute der Fall war.*

▲ *Über so gewaltige Zeiträume würde sich jedoch alles Leben in der Kunstwelt verändern. Niemand weiß, ob der Mensch das Ziel nach zigmillionen Jahren auch als Mensch erreicht.*

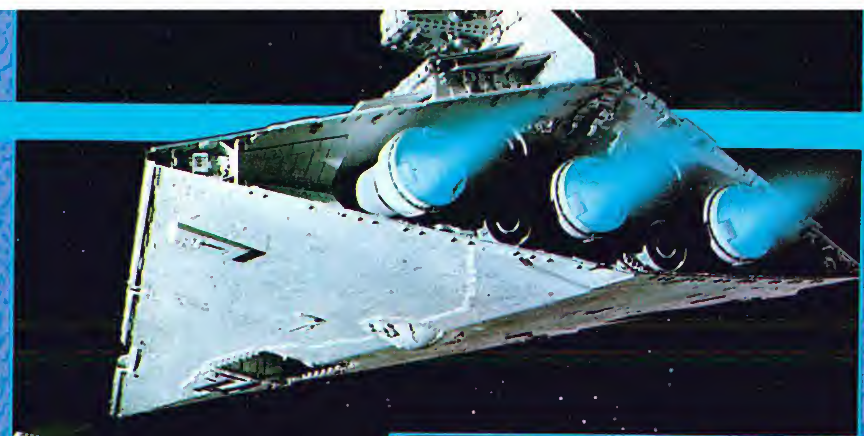
Joe Lawrence





David Hardy/Science Photo Library

▲ Kampfmaschinen vom Mars bedrohen die Menschheit: H.G. Wells schrieb seinen Roman „Krieg der Welten" bereits 1898. Heutzutage kommen die Außerirdischen (rechts) schon von etwas weiter her, und sie sind auch nicht mehr unbedingt „böse".

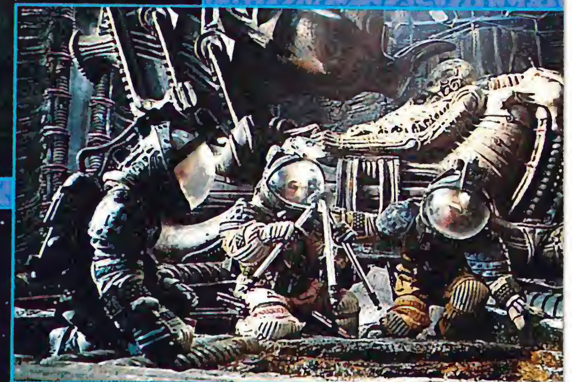

Ronald Grant Archive

▲ Raumschiffe dienen in Filmen weniger der Fortbewegung: Sie sind vor allem phantastische Maschinen. In „Star Wars" sind sie wie feuerspeiende Drachen.


Ronald Grant Archive

▲ Die Raumfähre in „2001" wirkt wenig aufregend. Die Spannung im Film wird durch die Handlung erzeugt.


Ronald Grant Archive

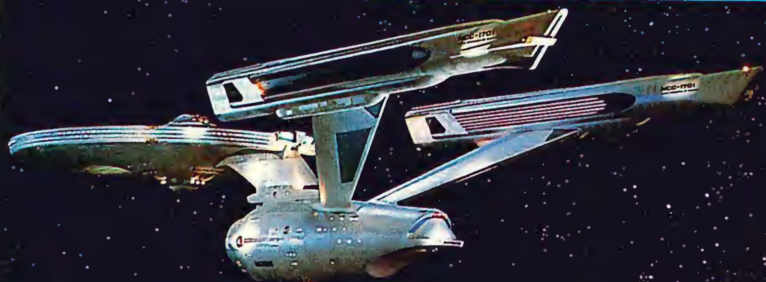

Ronald Grant Archive

▼ In Alien zeigen die Raumschiffe organische Formen. Technik und bedrohliche Umwelt verschmelzen.


Ronald Grant Archive

▲ Wenig spektakuläres Design in „2010". Die Steuerpulte könnten in einer heutigen Fabrik stehen: Nicht Traumwelt, sondern Bezug zur Gegenwart ist hier Motto.

Univeral Pictures/Kobal Collection


Paramount Pictures/Kobal Collection

◄ Computeranimationen lassen den Zuschauer die Zeit vergessen und machen aus der Idee vom lichtschnellen Reisen die perfekte Illusion.

▲ Raumschiff Enterprise ist in erster Linie ein Markenzeichen – in der Handlung von „Star Trek" spielt es jedenfalls nur eine untergeordnete Rolle.

● KUGELN AUS METALL ● WARME LUFT ● AUGENREFLEXE

# EXPERIMENTE IM ORBIT

**DIE SCHWERELOSIGKEIT DES ALLS ist ein außerordentlich beliebtes Feld für Experimente. Etliche galten der Erforschung der menschlichen Sinne. Viel Erstaunliches trat dabei schon zu Tage – vor allem bei den Versuchen an Bord des Spacelabs.**

Als das Spacelab 1983 zum ersten Mal ins All steigt, sind 24 Metallkugeln mit an Bord; jede drei Zentimeter groß und spiegelglatt geschliffen. Jede wiegt etwa 50 Gramm. Etwa, denn im Gewicht weichen sie leicht voneinander ab – nur um jeweils wenige Gramm und vor allem: nur auf der Erde. In der Ladeluke des Shuttle, in der das Spacelab seine Runden um unseren Planeten dreht, wiegen alle exakt das gleiche: nichts.

Warum sie an Bord sind? Sie werden für eines der Experimente gebraucht, die Ulf Merbold und die Spacelab-Crew durchzuführen haben. Die schier unmöglich klingende Aufgabe der Astronauten: Sie sollen sie dem Gewicht nach ordnen – ohne weitere technische Hilfsmittel, versteht sich. Eine Leistungsgrenze der menschlichen Wahrnehmung wird erforscht – mit einem Experiment, das sich nur in Schwerelosigkeit ausführen läßt.

Es stellt sich heraus, daß die Raumfahrer im All Mühe mit den Kugeln haben. Auf der Erde hielten sie noch um vier Gramm voneinander abweichende Kugeln auseinander. Aber die Ergebnisse sind besser als erwartet. Die Meßgenauigkeit der menschlichen Versuchskaninchen beträgt acht Gramm.

Wie sie dieses Kunststück zu Wege bringen? Ganz einfach: Sie wissen, daß sich Kugeln unterschiedlichen Gewichts stets auch in der Masse unterscheiden. Und die Masse ist im Orbit keine andere als auf der Erde.

## Masse und Beschleunigung

Hier unten stellen wir uns Masse oft als eine unmerkliche Eigenschaft der Materie vor und denken, wir könnten nur das allgegenwärtige Gewicht spüren. Doch das stimmt nicht. Wenn wir einen Nagel mit einem Hammer in die Wand schlagen, spüren wir schnell, ob seine Masse 200 Gramm – was normal wäre – oder nur 2 Gramm beträgt. Denn eine so kleine Masse wie 2 Gramm müßten wir schon enorm beschleunigen, damit sie beim Auftreffen auf den Nagelkopf auch nur eine spürbare Kraft überträgt.

Die Trägheit der Masse, die nötige Kraft, Masse zu beschleunigen und ab-

NASA/SPL



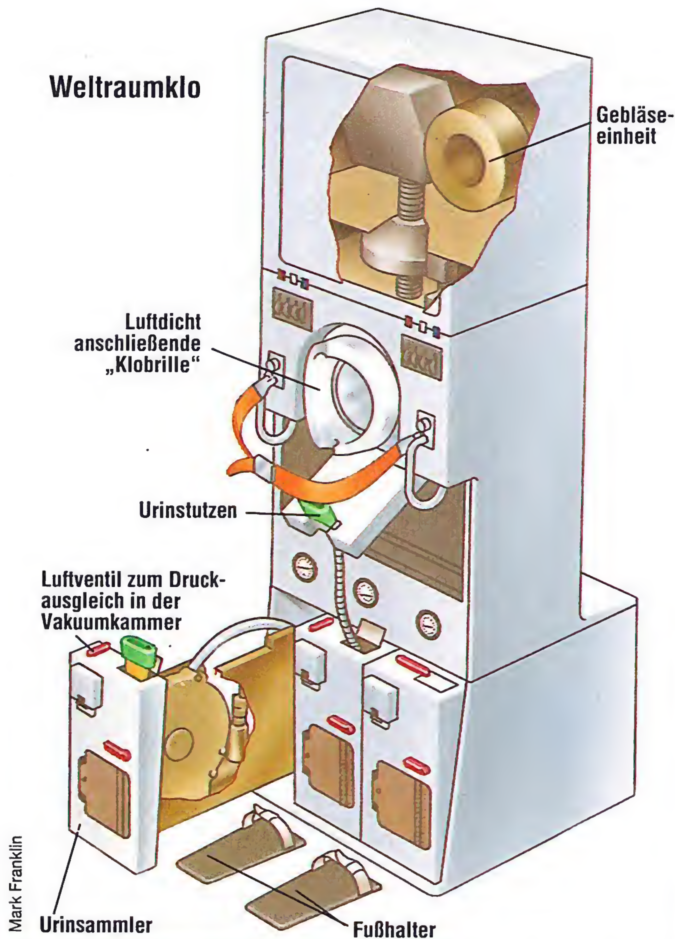

▼ *Die Erde vom Space Shuttle aus 250 km Höhe gesehen. Astronauten berichten, die Atmosphäre der Erde sei in den letzten Jahren sichtlich trüber geworden.*

NASA

► *Schlafsäcke für Schwerelosigkeit: Sowohl Ober- als auch Unterseite sind verstrafft, um dem Astronauten das seltsame Gefühl zu nehmen, daß er schwebt.*




## Weltraumklo




Mark Franklin

◀ ***„Stille Örtchen"*** *an Bord amerikanischer Raumfähren funktionieren ähnlich wie Staubsauger: Es wird der nötige Unterdruck erzeugt, damit die Fäkalien auch wirklich dahin verschwinden, wohin sie sollen – in eine nachgeschaltete Vakuumkammer. Jedes Mitglied der Crew benutzt einen eigenen Urinsammler. Ein Vorhang trennt die Toilette vom Shuttle ab.*

### WEITBLICK

Das einzige Bauwerk, das sie bloßen Auges gesehen hätten, sei die Chinesische Mauer, berichteten Raumfahrer. Die Mauer ist 10 m breit. Sie aus 250 km Entfernung zu sehen ist dasselbe, wie einen 1 mm starken Draht aus 25 m zu erkennen. Das Auge kann aber zwei 1 mm voneinander entfernte Punkte gerade eben aus 3,5 m Abstand trennen. Für eine feinere Auflösung liegen die Sehzellen zu weit auseinander. Hatten die Raumfahrer also geflunkert? Nein – nur sahen sie nicht die Mauer selbst, sondern die von Norden an sie herangewehten Sandmassen (unten).

NASA

zubremsen, machen sich auch die Männer im Spacelab zum Maßstab. Einfacher gesagt: Sie nehmen die Kugeln nach und nach in die Faust und schütteln sie. Ihr Tastempfinden registriert die Masseunterschiede erstaunlich genau.

Ein anderes Experiment der Spacelab-Crew betrifft unser Gleichgewichtsorgan. Wenn wir uns um eine unserer Körperachsen drehen, merken wir das auch im Dunkeln – vor allem dank der mit Flüssigkeit gefüllten Bogengänge im Innenohr, die Teil des Gleichgewichtsorgans sind. Wenn wir uns drehen, bleibt die Flüssigkeit in der Bewegung etwas zurück. Feine Härchen an der Gefäßwand registrieren das.

## Seegang im Innenohr

Halten wir andererseits nach einer Drehbewegung an, beruhigt sich die Flüssigkeit nicht gleich. Das Resultat: Alles scheint zu schwanken – auch deshalb, weil unsere Augen durch die Meldung der Bogengänge veranlaßt werden, sich so hin und her zu bewegen, als müßten sie einen Gegenstand aus der Bewegung heraus erfassen.

Den Zusammenhang zwischen der Bewegung der Flüssigkeit in den Bogengängen und dem Augenreflex wies bereits 1914 der Ungar Robert Barany nach. Er erntete mit seinem Versuch den Nobelpreis für Medizin. Einer Testperson wurde in ein Ohr 30 °C warme Luft, ins andere zehn Grad kühlere geleitet. Die Folge: Der Augenreflex trat ein, gerade so, als ob die Person sich drehen würde.

Als Erklärung für dieses Phänomen gab Barany: Aufgrund des Temperaturunterschieds erwärmt sich die Flüssigkeit in den Bogengängen unterschiedlich. Es entsteht leichte, erwärmte Flüssigkeit und schwere, kühlere. Die erwärmte steigt auf, die kühlere sinkt ab, so kommt die Flüssigkeit in Bewegung, und der Gleichgewichtssinn deutet das als Drehung.

## Überraschung im All

Das hört sich schlüssig an, doch als die Spacelab-Crew Baranys Experiment in 250 km Höhe wiederholt, zeigt sich: Ganz so kann es nicht sein. Auch hier erwärmt sich die Flüssigkeit unterschiedlich, doch kann sie dadurch nicht in Bewegung kommen; wird sie doch erwärmt nicht leichter, als sie es sowieso schon ist: schwerelos.

Erstaunt muß die Spacelab-Crew registrieren, daß ihr entgegen aller Logik schwindlig wird und sich der Augenreflex einstellt. Eine Erklärung für dieses Phänomen steht noch heute aus.



▶ ***Nicht so schön*** *wie auf der Erde, aber immerhin: Spinnen können in der Schwerelosigkeit Netze bauen.*

NASA

### Kaum zu glauben

**HERZDONNERN**

AN BORD DES SHUTTLES SPÜRT MAN SEIN HERZ FESTER SCHLAGEN. SCHWERELOS BESCHLEUNIGT DER HERZMUSKEL UM 60 % STÄRKER ALS AUF DER ERDE.




Paul Raymonde

● EXPANDIERENDE KERNE ● MASSENANZIEHUNG ● ERDGEWICHT

# DIE MASSE MACHT'S

**ALLES LICHT DER GESTIRNE entstammt der Kernfusion. Wasserstoffatome verschmelzen in den Sternen und setzen bei diesem Prozeß ungeheure Energie frei. Doch gelingt das nur unter höchstem Druck. Erzeugt wird er von der Massenanziehungskraft.**

Unter Masse können sich die meisten Menschen nur schwer etwas vorstellen. Manche denken bei diesem Begriff an etwas Unförmiges wie Knetmasse, andere sehen dabei etwas Undefiniertes, räumlich Ausgedehntes vor ihrem inneren Auge oder meinen, unwillkürlich so etwas wie Gewicht zu verspüren. Zwar hat das alles etwas mit Masse zu tun, aber was Masse eigentlich ist, erklärt es nicht.

So ist Masse durchaus nicht immer mit Gewicht verbunden. In einer Raumstation im Orbit etwa herrscht Schwerelosigkeit. Hier wiegt ein Schraubenschlüssel aus dem Gepäck eines Nutzlastspezialisten nichts. Dennoch hat das Werkzeug Masse. Der Astronaut merkt das möglicherweise dann, wenn er den Schraubenschlüssel im Shuttle aus der Hand legt und ihn vergißt. Das Werkzeug schwebt schwerelos umher, und der Raumfahrer hat eine gute Chance, sich bei einer unbedachten Bewegung gehörig den Kopf an dem massereichen Flugobjekt zu stoßen.

Es ist tatsächlich die Masse, die er so ausgesprochen eindrücklich erfahren kann. Würde er nur gegen einen winzigen Span stoßen, der aus demselben Material besteht wie der Schraubenschlüssel, käme er sicher ohne Beule davon.

## Schwerelose Kopfnuß

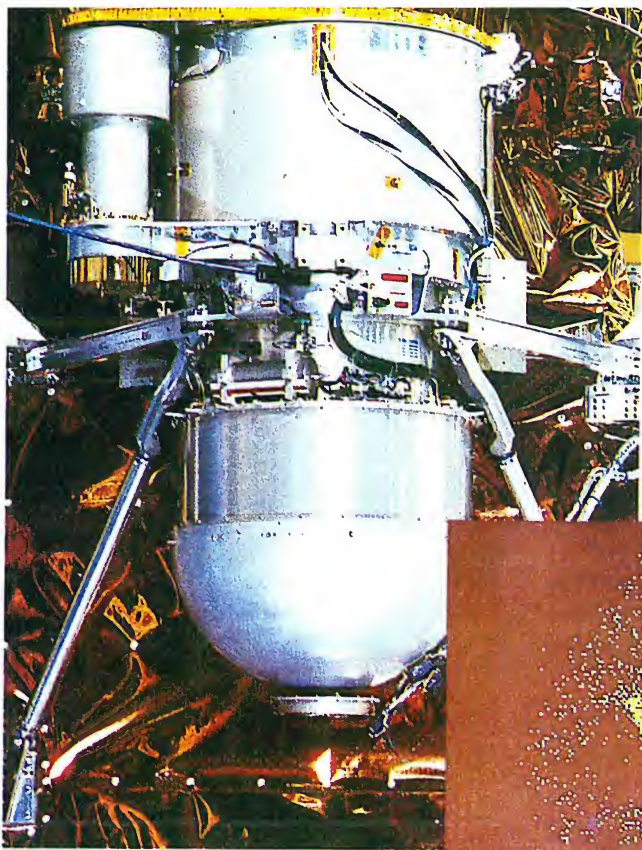
Die Masse ist es – nicht das Volumen, denn die unheimliche Begegnung mit der Materie ginge selbst dann ohne Verletzung ab, wenn man den Span hauchdünn walzen, einen Schrauben-

*Ein weißer Zwerg ist alles, was eines Tages von unserer Sonne übrigbleiben wird. Ihre Masse zeichnet ihr vor, wohin sie sich unausweichlich entwickeln wird.*

D.Hardy/Science Photo Library

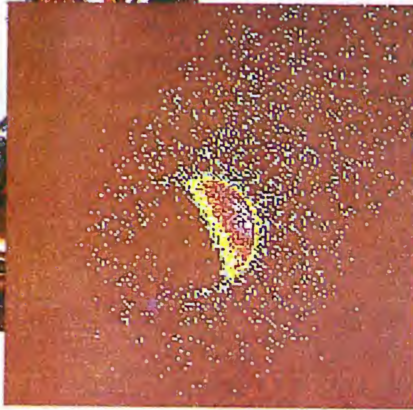




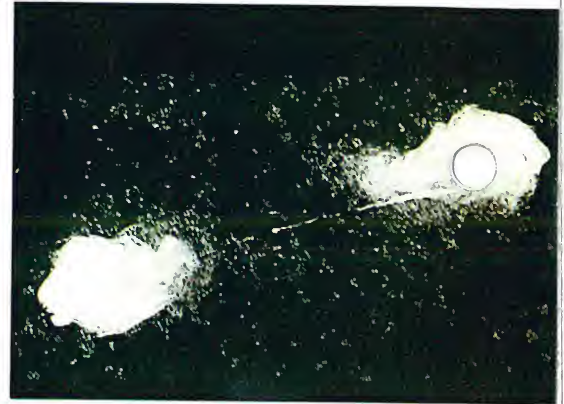


Leicester University

◀ ***Röntgensatelliten*** *registrierten starke Röntgenstrahlung, die von den fernsten wahrnehmbaren Galaxien ausgeht. Die Kerne dieser Quasare, so nimmt man an, sind Schwarze Löcher von 10 Milliarden. Sonnenmassen. Unten sieht man den Mond vor dem Hintergrund ferner Röntgenquellen.*



NRAO/AUI/Science Photo Library



▲ ***Cygnus A,*** *eine Radaraufnahme der Galaxie, die sich in 740 Millionen Lichtjahren Abstand befindet. Sie ist tausendmal massereicher als unsere Milchstraße.*

NRAO/AUI/Science Photo Library

höheren Temperatur und des Druckes im Kern ihren Kernbrennstoff sehr viel schneller „verheizen" als massearme Sterne. Ein Stern von 15facher Sonnenmasse leuchtet beispielsweise nicht 15mal heller als die Sonne, sondern mit 10 000facher Intensität.

## Völlig ausgebrannt

Einem solchen Super-Leuchter ist daher auch eine deutlich kürzere Lebensdauer beschieden als relativ kleinen Sternen von der Masse unserer Sonne. Während sie einige Milliarden Jahre lang das Gleichgewicht zwischen Wasserstoff-Fusion und Massenanziehung halten kann, bricht es bereits bei Sternen der dreifachen Sonnenmasse nach knapp einer Milliarde ihrer Existenz zusammen.

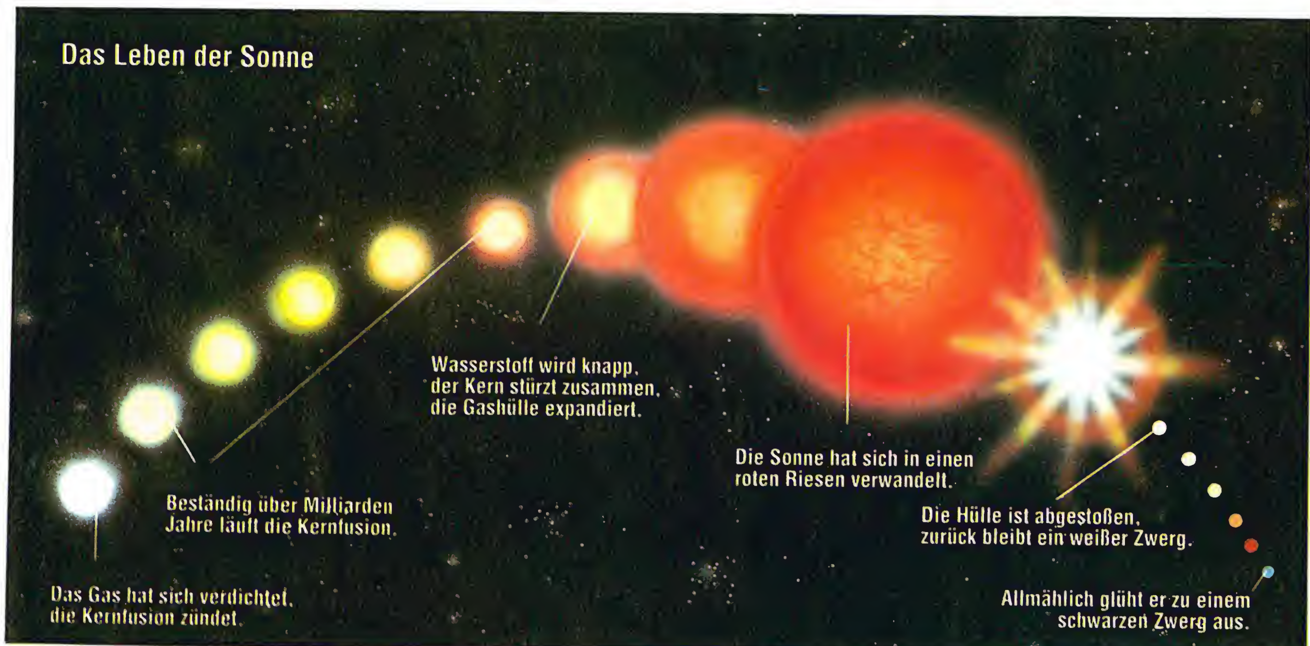
Betroffen davon ist zunächst der Kern. Fast erloschen kann er dem Druck der andrängenden Sonnenmasse kaum noch widerstehen. Er schrumpft, wird über 100 Millionen K heiß, so heiß, daß das inzwischen dort aus Wasserstoff entstandene Helium zu Beryllium fusioniert. Dadurch kommt wieder von innen Druck in die Sache, und der Stern bläht sich zu einem roten Riesen auf.

Ein paar mal kann er noch solche Zyklen durchlaufen – wie viele, hängt wiederum von seiner Masse ab. Doch wenn der Ofen endgültig aus ist, dann stürzt der Kern ein letztes Mal in sich zusammen. Die Stoßwelle sprengt die äußere Gashülle ab, und zurück bleibt ein Grabstein von einem Stern. Was aus den strahlenden Himmelkörpern nach ihrem Zusammmenbruch wird: Auch das ist eine Frage der Masse.

## Vom Superstar zum Zombie

Unserer Sonne wird eines Tages zu einem weißen Zwerg schrumpfen. Hat der verbleibende Kern jedoch 1,5 Sonnenmassen, bleibt ein Neutronenstern übrig. Und was aus einem Sternenrest von 2,5 Sonnenmassen wird, hat der Astronom Chandrasekhar berechnet. Er hat genau durchkalkuliert, was mit einer so großen Masse geschieht, die von keiner Kernfusion mehr aufgebläht wird. Sein Ergebnis: Der einst superhelle Stern wird zum Zombie. Er fällt unweigerlich zu einem Schwarzen Loch zusammen.

▼ ***Der Werdegang*** *eines Sterns hängt von seiner Masse ab. Sie muß groß genug sein, damit die Kernfusion zündet, und sie entscheidet auch, ob er als weißer Zwerg, Neutronenstern oder Schwarzes Loch endet.*




Paul Williams



# LAUSCHANGRIFF

*Riesige Schüsseln lauschen ins All. Die Wahrscheinlichkeit, daß eine Fernsehanstalt aus Versehen das Sandmännchen von Tau Ceti statt ihres Korrespondenten aus Moskau empfängt, ist allerdings gleich Null.*



T. Horowitz/ZEFA

**DIE TAUSENDFÜSSER-OLYMPIADE bei Epsilon Eridani und Seifenopern aus dem Alltag der wackelpuddingförmigen Bewohner von 61 Cygni: Möglicherweise werden bald Sendungen dieses Kalibers bei uns im Fernsehen flimmern.**

Unseren Planeten umgibt ein wahrer Wellensalat: Jede Sekunde werden via Satellit Tausende Telefongespräche abgewickelt und unzählige Fernsehbilder geschickt. Unmengen Radiosender produzieren unablässig Signale, die unsere Atmosphäre durchdringen und in der Tiefe des Alls versickern.

S. Firebaugh/Tony Stone Photo Library

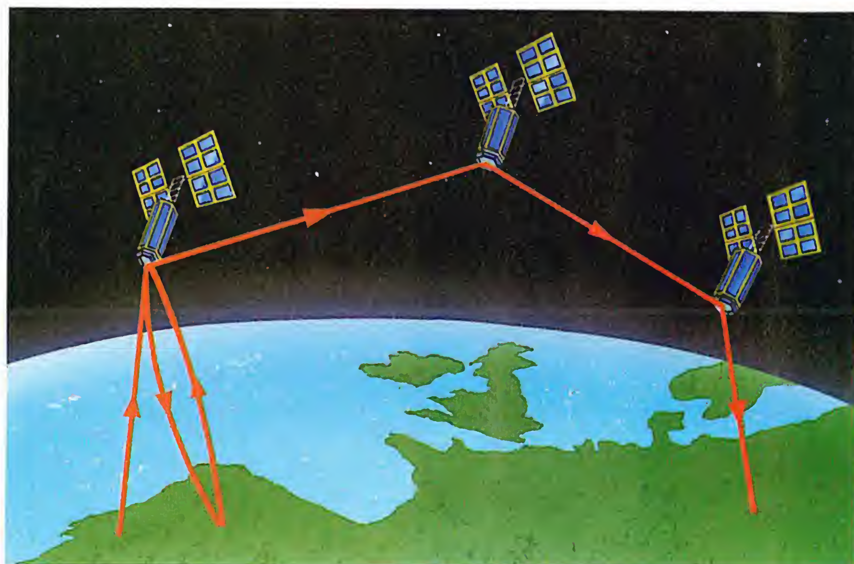
Nichts deutet darauf hin, daß ein bewohnter Planet wie die Erde einzigartig im Universum ist. Allein in unserer Milchstraße, rechnen Astronomen, schwirren eine Million bis eine Milliarde Planeten herum, auf denen sich höhere Lebensformen entwickelt haben könnten. Man darf also getrost annehmen, daß an diversen Stellen unserer Galaxis Lebewesen hausen, die wie wir elektromagneti-

▼ ***Die Signale*** *der irdischen Telekommunukation dringen nicht weit ins All. Bevor sie ein anderes Planetensystem erreichen können, sind sie bereits verrauscht.*

▶ ***Lebensformen,*** *die wie wir Telekommunikation betreiben, mag es millionenfach in unserer Milchstraße geben - oder vielleicht gegeben haben. Im universalen Funkgeschehen mischt die Menschheit gerade einige Jahrzehnte mit. Das Universum besteht aber schon seit 18 Milliarden Jahren.*



NASA/Science Photo Library



Motorola/Mark Franklin

Von dieser Einschätzung ist man auch bei SETI (Search for Extra-Terrestrial Intellegence = Suche nach außerirdischer Intelligenz) ausgegangen. Dieses auf sechs Jahre angelegte NASA-Programm startete im Oktober 1992. Man sagte sich: Wenn eine Reise zu fremden Intelligenzen nicht möglich ist, kann man doch zumindest versuchen, Radiosignale von ihnen zu empfangen.

Fremde Sonnen wurden schon des öfteren angepeilt, jedoch ohne Lebenszeichen zu entdecken. So belauschte man bereits 1960 beim Projekt Ozma den Raum um die 11 und 12 Lichtjahre entfernten Sterne Epsilon Eridani und Tau Ceti mit einem 26-m-Radioteleskop. Seitdem wurden einige hundert Sonnen untersucht – leider erfolglos.

Bei SETI sind die Hoffnungen größer, denn für das Projekt gibt es die modernsten technischen Mitteln. Stolz verweisen die Wissenschaftler darauf, daß die Geschwindigkeit, mit der man Himmelsregionen nach verdächtigen Signalen durchforsten kann, seit Ozma um das Zehnbillionenfache gestiegen ist.

Die 34-m-Antenne des Deep-Space-Network wurde mit der neuesten Computertechnik und -software ausgerüstet, um den Himmel über Kalifornien nach Funksignalen von Außerirdischen im Bereich zwischen 1 und 10 Gigahertz abzusuchen. Zwei Millionen Kanäle innerhalb dieses Spektrums sind gezielt zu überprüfen. Das geschieht in einem kaum mehr vorstellbaren Tempo: Die Signalverarbeitung kann 4,5 Milliarden Datenoperationen in der Sekunde bewältigen.

Große Radioteleskope wie die 305-m-Schüssel in Arecibo, Puerto Rico, sollen demgegenüber die besonders aussichtsreichen Kandidaten in Augenschein nehmen. Hier sind rund 1000 der Sonne ähnliche Sterne zu überprüfen, dabei ist der Einsatz der neuesten Computertechnik selbstverständlich.

## Kanal Alien?

Ist es also nur noch eine Frage von Monaten, bis wir den ersten außerirdischen Fernsehkrimi sehen? Nicht unbedingt. Wenn die eine Million bis eine Milliarde bewohnten Planeten in der Milchstraße gleichmäßig verteilt liegen, dann sind sie im Schnitt 22 bis 220 Lichtjahre voneinander entfernt. Radiosignale von der Stärke, wie wir sie zur Kommunikation auf der Erde einsetzen, sind zwar lichtschnell, doch werden sie mit wachsender Entfernung immer schwächer. Die Impulse des stärksten Radiosenders der Welt gehen nach einem halben Lichtjahr im Rauschen des Kosmos unter.

Empfangen werden wir also nur etwas, wenn irgend jemand da draußen auch tatsächlich vernommen werden will. Um eine Distanz von 22 bzw. 220 Lichtjahren zu überbrücken, müßte er 2000- bzw. 200 000mal stärker senden, als wir es zur Zeit können.



G Finlayson/Tony Stone

◀ ***Voyager,*** *amtierender Weltmeister im Weitfunken von Videobildern, kommt mit seinem 20-Watt-Sender gerade eben 12 Lichtstunden weit.*




Paul Raymonde



- HITZETOD
- EXPLODIERENDE STERNE
- KOMETENHAGEL

# GEFAHR AUS DEM ALL

**DAS ENDE DER ERDE IST GEWISS. Ihre Tage sind gezählt, denn schon jetzt steht fest: In rund 3,5 Milliarden Jahren wird sich unsere Sonne zu einem roten Riesen aufblähen und Merkur, Venus, Erde sowie Mars kurzerhand verschlingen. Aber auch schon vorher können kosmische Katastrophen eintreten, die das Ende der Menschheit bedeuten.**

Die Erde ist, wie das gesamte Sonnensystem, rund 4,5 Milliarden Jahre alt – eine irrsinig langer Zeitraum, der sich der menschlichen Vorstellung kaum erschließt. Um sich ein besseres Bild von der Entwicklung unseres Planeten zu machen, gibt es jedoch einen wirkungsvollen Trick. Man „schrumpft“ die bis heute vergangenen 4,5 Milliarden Jahre auf ein einziges zusammen. Schon hat man einen Maßstab, mit dem sich alle wichtigen erdgeschichtlichen Ereignisse übersichtlich wie in einen Terminkalender einordnen lassen.

Verfährt man nach dieser Methode, stellt man erstaunt fest: Es ist noch gar nicht so lange her, daß das Leben auf der Erde zu keimen begann. Blättert man im Terminkalender der Schöpfung, so sieht man: Es verstrichen satte vier Monate, bevor überhaupt Leben in die Bude kam. Kleine Einzeller entstanden Anfang Mai in den Ozeanen und „erfanden“ die Photosynthese.

Wer meint, daß es von da an Schlag auf Schlag ging, der täuscht sich. Es ziehen Monate ins Land, in denen sich in den Meeren mehrzellige Organismen, Schwämme, Quallen, Schnecken und schließlich Fische entwickeln, und

Jeremy Gower

*__Ein roter Riese__ taucht drohend am Horizont einer verwüsteten Landschaft auf – eine Zukunftsvision, die für unseren Planeten in 3,5 Milliarden Jahren Wirklichkeit ist.*





erst Ende November beginnen die ersten Lebewesen, das Festland zu besiedeln: Insekten und Amphibien.

## In der Silvesternacht

Unser „Jahr" neigt sich schon seinem Ende entgegen, der zweite Advent ist vorüber, da beginnt die große Zeit der Dinosaurier. Bis Weihnachten halten sie durch, dann läßt sie die Evolution in der Versenkung verschwinden. Die große Zeit der Säugetiere bricht nun an. Am 19. Dezember waren die ersten bereits auf der Erde aufgetaucht. Nun treten sie aus dem Schatten der Dinos hervor: Mammuts, Säbelzahntiger und andere inzwischen längst ausgestorbene Arten.

Mittlerweile ist Silvester, doch vom ersten Menschen fehlt jede Spur. Erst gegen 18 Uhr tritt aus dem Dunkel der Geschichte der Urmensch ans Licht. Und wir müssen uns noch in Geduld fassen, wenn wir die Geburt der frühen Hochkulturen der Menschheit erleben wollen: Der Zeitraum, aus dem Schriftdokumente der Menschheit überliefert sind, umfaßt im „Jahr" der Erde gerade die letzten Minuten vor Silvester-Mitternacht.

Heute wissen wir, daß die Erde kein weiteres „Jahr" überdauern wird. Der Kernbrennstoff der Sonne erschöpft sich bis zum nächsten Sommer. Sie wird im Herbst als riesiger roter Feuerball am Himmel stehen und alles Leben auf der Erde versengen. Als Wesen jedoch, die noch nicht einmal auf einen ganzen Tag irdischer Existenz zurückblicken können, sollte uns dieses Ende der Welt wenig schrecken, liegt es doch in unbeschreiblich weiter Ferne.

Auch wenn man die Maßstäbe der Evolution anlegt, ist die Galgenfrist, die dem Leben bis zum Hitzetod der Erde bleibt, reichlich bemessen. Es ist nicht auszuschließen, daß es intelligente Lebensformen auf unserem Planeten geben wird, wenn ihn sein Schicksal ereilt. Doch ob sie mit uns Menschen noch allzu viel gemein haben werden?

Der Natur bleibt bis dahin genug Zeit, sämtliche Akteure, die sie auf die Weltbühne gehoben hat, mehr als einmal durch völlig anders geartete Geschöpfe zu ersetzen. Um neue Säugetierfamilien hervorzubringen – zum Beispiel die Familie der Katzen, zu der vom Löwen bis zum Stubentiger alles gehört, was brüllt oder schnurrt – genügen der Evolution lächerliche 39 Stunden eines „Erdjahres". Und selbst mit der Entwicklung neuer Ordnungen – etwa die der Raubtiere, die Bären, Hunde- und Katzenartige, Marder und Robben umfaßt – ist sie in weniger als einer Woche fertig. Es spricht also einiges dafür, daß die Evolution den Menschen längst ausrangiert hat, bevor die Sonne verglüht.

## Ende mit Knalleffekt

Aber nicht nur die Sonne ist vergänglich. Ständig haucht irgendwo im Universum ein Stern sein Lebenslicht aus, denn die Sterne am Himmel sind weder gleich alt, noch altern sie gleich schnell. Die massereichsten unter ihnen ereilt ihr Schicksal am frühesten, denn sie „brennen" am



▶ ***Giotto,*** *die europäische Raumsonde, schoß dieses Foto des Halleyschen Kometen aus 10 000 km Abstand. Man erkennt den dunklen, länglichen Kometenkern. Links tritt der leuchtende Gasschweif aus. Der Kern Halleys ist ungewöhnlich groß: Er mißt stattliche 15 mal 9 km.*

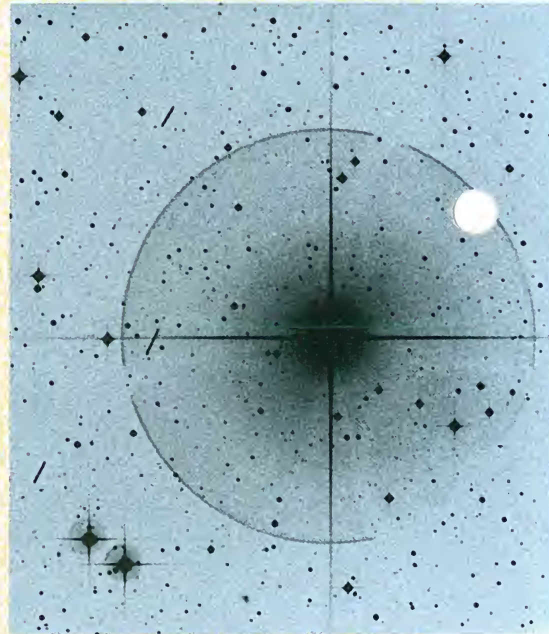
ESA



◀ ***Tunguska*** *am 30.6.1908: Über Sibirien explodiert ein Feuerball und knickt im weiten Umkreis die Bäume wie Streichhölzer um – ein Planetoid von 50 m Durchmesser, der in der Atmosphäre zerplatzte.*

### DER GEFAHR AUF DER SPUR

Auch wenn wir keine große Furcht vor schwereren Treffern aus dem All haben müssen, weil sie so selten sind: Es wäre noch beruhigender, wenn wir die Bahnen aller Stein- und Eisbrocken kennen würden, die der Erde bedrohlich nahe kommen können. Kometen mit ihren leuchtenden Gasschweifen sind recht auffällig. Seit Edmund Halley 1682 die ellipitsche Bahn des nach ihm benannten Schweifsterns errechnete, hat man die Bahnen der meisten wiederkehrenden Kometen erfaßt. Planetoiden sind dagegen wahre Heimlichtuer. Weil sie häufig nicht einmal 1,7 km durchmessen und noch dazu recht dunkle Oberflächen haben, reflektieren sie wenig Sonnenlicht. Dennoch verrät sie ihr schwacher Schein auf Fotos des Sternenhimmels. Vor dem Hintergrund der Fixsterne erscheinen sie auf Langzeitbelichtungen nicht punktförmig, sondern als Striche. Drei solcher Lichtspuren sieht man auf dem nebenstehenden Foto. Verfolgt man ihre Bahnen über längere Zeiträume, kann man ihren zukünftigen Kurs berechnen.

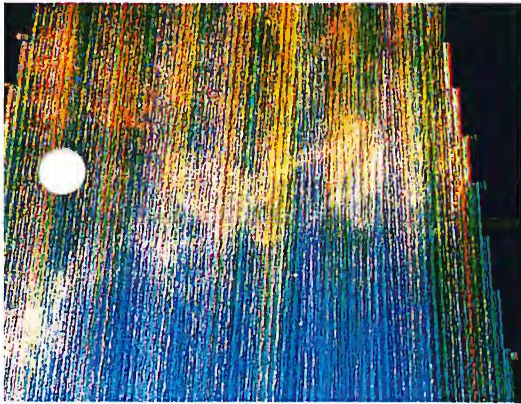


Royal Observatory, Edinburgh



Michael Carroll/Space Art International

◀ ***Planetoidentrümmer*** *können zu lokalen Katastrophen führen – hier eine Vision. Die Wahrscheinlichkeit jedoch, daß sie ins Meer statt auf Land fallen, liegt bei zwei zu eins.*



NASA/SPL

◀ ***Kosmischer Staub,*** *durch den die Sonne gelegentlich fliegt, scheint keine Gefahr für das Leben auf der Erde zu bedeuten. Bisher ließen sich keine Auswirkungen nachweisen.*

heftigsten, und wenn sie wirklich schwer waren, dann zerbersten sie an ihrem Ende in einer Explosion, die alle menschliche Vorstellungskraft übersteigt.

Am Morgen des 4. Juli 1054 sahen chinesische Astronomen einen merkwürdigen „neuen Stern“ kurz vor der Sonne am Himmel aufgehen. 23 Tage lang strahlte er so hell, daß er mit bloßem Auge bei Tag zu sehen war. Dann wurde er immer dunkler. Ein Jahr später war er auch am Nachthimmel nicht mehr zu entdecken.

An seiner Stelle steht heute ein Neutronenstern. Seine weggesprengte Hülle, der Crab-Nebel M1 im Sternbild Stier, umgibt ihn als Gaswolke. Sie dehnt sich mit 4,68 Millionen km/h aus. In den 940 Jahren bis heute ist sie auf einen Durchmesser von 15 Lichtjahren gewachsen. Unvorstellbar, doch was wäre erst, wenn eine solche Supernova nicht in 5000 Lichtjahren Entfernung wie die von 1054, sondern in direkter Nachbarschaft unseres Sonnensystems hochginge?

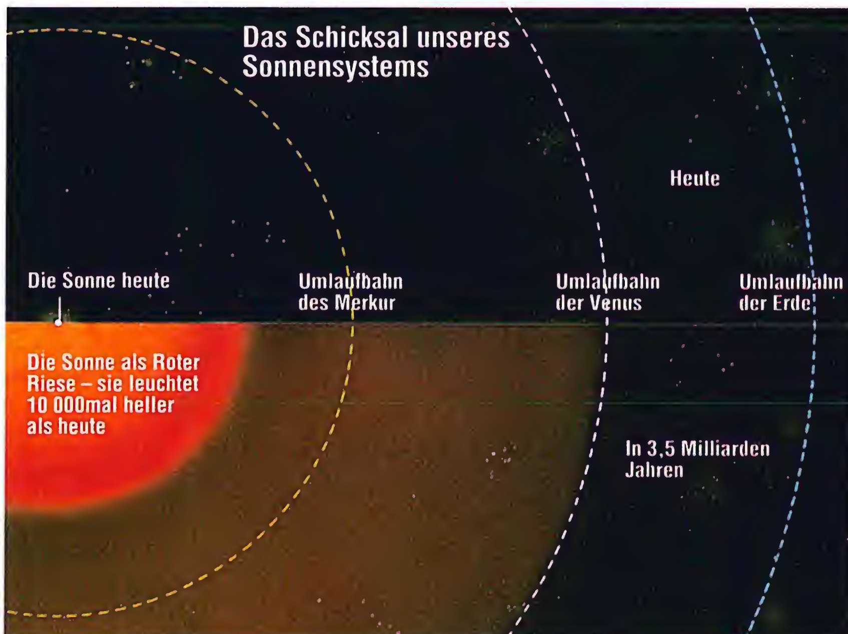
Sie würde uns wahrscheinlich die ganze Atmosphäre ins All hinausblasen: eine Vorstellung, die einen nicht gerade kalt läßt; vor allem dann nicht, wenn man weiß, daß Supernovae relativ häufig sind. In den paar Sekunden des „Erdjahres“, die seit Christi Geburt vergangen sind, dürften zehn von der Erde sichtbar am Nachthimmel aufgeflammt sein. Ihre tatsächliche Zahl in der Milchstraße schätzen Astronomen für denselben Zeitraum auf sechzig.

Dennoch brauchen wir uns vor ihnen kaum zu fürchten. In der näheren Umgebung gibt es keine Kandidaten, die für



Paul Williams

▶ ***Übermächtige Vulkanausbrüche*** *nach Treffern aus dem All können das Klima beeinflussen und dadurch die Erscheinungsformen des Lebens total verändern, es aber nicht auslöschen.*




David Weintraub/SPL

◀ ***Wenn sich die Sonne*** *in rund 3,5 Milliarden Jahren zu einem roten Riesen aufbläht, wird ihr Durchmesser so sehr wachsen, daß sie schließlich Merkur, Venus, Erde und Mars verschlingt.*

Science Photo Library

▼ ***Die Supernova*** *von 1987: Obwohl der „neue Stern“ im Bild rechts 165 000 Lichtjahre weit ist, scheint er heller als die viel näheren Sterne, die ebenfalls auf dem Foto zu sehen sind.*

Science Photo Library







ein spektakuläres Ende als Supernova in Frage kämen. Delta Cephei ist der uns nächste. Er ächzt und stöhnt unter seiner Masse, der kaum noch Kernfusionskräfte im Inneren entgegenstehen. Im Rhythmus von 5 Tagen und 9 Stunden schwankt sein Durchmesser um 11 %. Jeden Moment könnte er auseinanderknallen. Aber keine Angst: Er ist 1000 Lichtjahre entfernt. Und Blaue Überriesen, wie man einen auf älteren Fotos dort findet, wo 1987 die Supernova in der Großen Magellanschen Wolke aufleuchtete, gibt es in Erdnähe auch nicht.

## Sterne auf Crashkurs?

Aber würde ein kleiner Stern nicht auch reichen, wenn er nur quer durch das Sonnensystem hindurchsauste? Schon, doch sind die Sterne viel zu dünn gesät, als daß diese Gefahr bestünde. Wären sie klein wie Fliegen, könnte sich das Dutzend, das der Sonne am nächsten steht, mit ihr einen Würfel von 1000 km Kantenlänge teilen. Das macht Zusammenstöße nicht gerade wahrscheinlich.

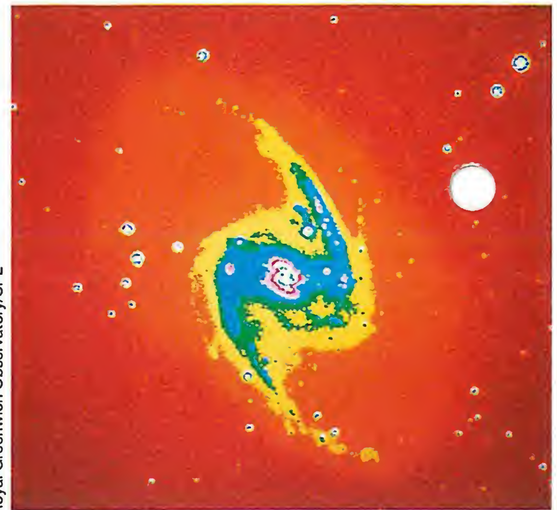
Auch was in weiterer Nachbarschaft der Sonne unterwegs ist, läßt nur einen Schluß zu: kein Grund zur Panik. Als nächste nennenswerte Begegnung wird die mit Barnards Pfeilstern vorhergesagt. Er wird in 8000 Jahren seinen Minimalabstand zur Sonne erreichen – vier Lichtjahre ist er dann von uns entfernt.

Daß in ferner Vergangenheit schon einmal ein Stern näher an unserer Sonne vorbeigezogen sein könnte, dafür gibt es sichtbare Hinweise: die Kometen. Ihre Heimat, so belegte der Astronom Jan Oort 1950, indem er ihre Bahnen berechnete, ist ein Gebiet, das sich außerhalb der Plutobahn als Kugelschale um die Sonne erstreckt. Einst bewegten sich alle Kometen ausschließlich dort auf elliptischen Bahnen. Doch dann muß irgend etwas einige der Kometen beschleunigt haben – vielleicht die Gezeitenkraft eines Sterns, der nahe an der Sonne vorbeizog. Die Folge für die Kometen: Ihre Bahn verformte sich und führte sie weit ins Sonnensystem hinein.

Dort machen die Winzlinge, wenn sie von Zeit zu Zeit auftauchen, ein solches Spektakel, daß der Mensch mit Mißtrauen zu ihnen aufblickt. Kein Wunder: Ihr Feuerschweif aus Gas, das im Sonnenwind leuchtet, ist überaus imposant. Doch tatsächlich sind die meisten Kometenkerne sehr klein. Im Schnitt haben sie einen Durchmesser von 2,5 km. Immerhin: Ab und an könnte der eine oder andere von ihnen die Erde treffen.

Ebenfalls auf Kollisionskurs sind einige der Planetoiden. Rund 1000 dieser urzeitlichen Gesteinsbrocken, die es bis heute nicht geschafft haben, sich an einen Planeten anzulagern, dürften periodisch die Erdbahn kreuzen. Ceres, der größte aller Planetoiden, hat einen Durchmesser von rund 1000 km. Daß man viel größere entdeckt, ist unwahrscheinlich, da sie heller und folglich um so leichter zu finden sein müßten.

Welche Wirkung Kometen- und Planetoidentreffer für die Erde haben, kann man inzwischen recht gut berechnen. Als schwere Treffer sieht man solche an, die Krater von mindestens 10 km Durchmesser reißen. Ein solcher Einschlag hat ähnlich verheerende Folgen wie ein Erdbeben und kann viele Todesopfer fordern. Rund tausend Burschen dieses Kalibers gingen in den letzten 12 Tagen des „Erdjahres" nieder – das bedeutet: seit der Zeit des ersten Urmenschen 30 Einschläge. Den Untergang des Menschen bedeutete jedoch keiner davon.



Royal Greenwich Observatory/SPL

▲ ***Eine aktive Galaxie:*** *Ein schwarzes Loch im Zentrum verschlingt dort vielleicht Sterne. Wäre auch in der Milchstraße eins, „fräße" es die Sonne erst, wenn sie längst erloschen ist.*



Key Scott Design

◀ ***Falls der Treibhauseffekt*** *weiter wächst, könnte die Erde zu einer heißen, unbewohnbaren Wüste wie die Venus werden. Untersuchungen der Raumsonde Magellan sollen genauere Erkenntnisse bringen, warum unser einst fruchtbarer Nachbarplanet zur glühenden, kochenden Wüste wurde. Noch haben wir gute Chancen, einem ähnlichen Schicksal zu entgehen und zu verhindern, daß die Erde eines Tages so aussieht, wie es in der Illustration dargestellt ist.*

Als größte Katastrophe, die der Absturz eines Himmelskörpers ausgelöst haben kann, wird das Aussterben der Saurier angesehen. Ein Planetoid von 10 km Durchmesser oder ein ebenso großer Kometenkern könnte damals auf unseren Planeten eingeschlagen sein. Der von ihm aufgewirbelte Staub hätte genügt, das Weltklima so durcheinanderzubringen, daß sich das ganze Leben auf der Erde veränderte. Doch solche Brocken, die Krater über 150 km Durchmesser schlagen, sind extrem selten. Man rechnet mit rund zwei Treffern je Monat des „Erdjahres".

## In unseren Händen

Angst vor Katastrophen aus dem All müssen wir daher nicht haben. Ob wir die nächsten sechs Stunden des vor uns liegenden „Erdjahres" durchhalten – denn das hieße schon, das Alter der Menschheit überhaupt zu verdoppeln – hängt also ganz allein davon ab, wie wir mit unserem Planeten umgehen.

### Kaum zu glauben

**PERFEKTE KONTROLLE?**
ALLER ÜBERWACHUNG ZUM TROTZ WURDE EIN KLEINER PLANETOID, DER IM JANUAR 1991 ZWISCHEN MOND UND ERDE HINDURCHSAUSTE, ERST STUNDEN ZUVOR ENTDECKT.




Paul Raymonde